عالم المعرفة

187

آلاف السنين من الطاقة

تأليف: فلاديمير كارتسيف

بيوتر خازانوفسكي

ترجمة: محمد غياث الزيات

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

187

آلاف السنين من الطاقة

تأليف

فلاديمير كارتسيف

بيوتر خازانوفسكي

ترجمة: محمد غياث الزيات



يوليو 1994

المواد المنشورة في هذه السلسلة تعبر عن رأي كاتبها
ولا تعبر بالضرورة عن رأي المجلس

المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

١ الطاقة الحية

(واحد ضد كل شيء، وضد الجميع)

تميزت الآثار بوضوح في الطف[1] المتحجر. في أزمنة سحيقة، هنا على هضبة سيرنجيتي[2]. مضى اثنان - الأول طويل والثاني قصير. قد يكون أولهما بالغا والثاني طفلا، وقد يكون الأول رجلا والثاني امرأة. تتجه الآثار من الشمال إلى الجنوب تقريبا. ثم تنقطع فجأة عند واد ضيق. ويمكن أن يلاحظ ذلك حتى قصاص ضئيل الخبرة. إن أحد الرفيقين وقف فجأة في مكان ما، وتلفت حوله مترددا ثم تابع المسير. في تلك الساعة ابتلت الأرض بالأمطار على الأرجح، وبعدما مضى عابر السبيل جففت الشمس الاستوائية التربة وحفظت لنا تلك البصمات. حادثة عادية تماما، غير أن تلك الأمطار كانت قد هطلت منذ مدة طويلة، لقد مضى على تلك الآثار أكثر من ثلاثة ملايين من السنين، وهذه على الأرجح أقدم اكتشافات لآثار الإنسان على الأرض.

يصعب علينا أن نمنع النفس من البدء بحديث الطريق العظيم للإنسانية إلى الحضارة الحديثة بدءا من تلك الآثار التي تحدثت عنها مكتشفتها عالمة الآثار ماري ليكي:« الرحلة العظيمة» التي-

خلال ملايين السنين من تجارب التطور وأخطائه، إخفاقاته ونجاحاته- أوصلت القائمين بها إلى «يومنا الحالي».

فلنترافق، نحن وأسلافنا، في تلك الرحلة الصعبة والمعقدة والخارقة الأمد. ولكننا سنهتم، لا بالتطور التاريخي للإنسان بشكله البيولوجي، بل بكيفية صيرورته ليس فقط إنسانا عاقلا (Homo sapiens)[3] وإنما أيضا إنسانا قادرا (Homo forsabilis)[4]، وكيف سيطر على عالم الطبيعة وأنشأ عالما جديدا تماما هو عالم تكنولوجيا الطاقة.

ربما كان الإنسان نفسه في ذلك الوقت أضعف وأضأل من أن يخرج حيا في صراعه مع قوى الطبيعة. إذ لم يكن يملك فروة كثيفة تقيه القرّ، أو أرجلا ومخالب وأنيابا قوية تساعده على إدراك فريسته والانتصار عليها، ومع ذلك فقد بقي حيا وأصبح المسيطر الحقيقي على الطبيعة.

كتب هنري ديفيد ثورود (H.D. Thoreau)[5] الكاتب والفيلسوف الأمريكي: «إن الإنسان لم يخلق هكذا قويا بحيث لم يحتج إلى تضييق للعالم المحيط به، وإحاطة نفسه بمخبأ ما. إنه في البداية عاش عاريا يلتحف السماء، وهو أمر مقبول تماما عندما يكون الطقس صافيا ودافئا وفي أوقات النهار. ولكنه في موسم الأمطار أو في الشتاء، ولن نتحدث عن الشمس الاستوائية المحرقة، كان سيهلك منذ البداية لو لم يسارع إلى الانزواء في مأوى. إن آدم وحواء، طبقا للقصة، اقتنيا مسكنا من أوراق الشجر قبل الثياب».

حتى في أعماق طبقات الحفريات الأثرية وجدت أدوات العمل إلى جانب رفات الإنسان. في البداية كانت أدوات العمل بدائية جدا ومصنوعة على مبدأ ما يسمى المبدأ التكنولوجي الكاليتشني[6]، ثم تعقدت تلك الأدوات أكثر فأكثر.

وكثيرا ما يلاحظ أن أحدث الاكتشافات الأثرية بين أن بداية تحضير الأدوات تتعمق أكثر وأكثر في عمق القرون. ففي عام 1960 وجد لويس ليكي، زوج العالمة المذكورة ليكي، أثناء الحفريات في تنزانيا، أدوات عمل بدائية جدا مصنوعة من الحصى، تعود إلى مليوني سنة، وعثر ابنه ريتشارد ليكي، عام 1968، في كينيا على قواطع حصوية[7] أقدم من تلك التي وجدها أبوه بـ 600 ألف سنة. ولكن ثمة أدوات عمل أقدم وقعت في أيدي العلماء منذ فترة بسيطة، في الحفريات التي أجريت بالقرب من المدينة الإغريقية

القديمة بتوليمايس في مقدونيا تعود إلى أكثر من ثلاثة ملايين من السنين.

إن أولى الأدوات التي استخدمها الإنسان كانت بالطبع بدائية جدا، كانت عبارة عن قطع من الحجر الصوان، إحدى نهايتيها أحدّ من الأخرى بسبب طريقة الفلق، ثم تطورت هذه الأدوات الصوانية تدريجيا وعبر آلاف السنين إلى أن أصبحت رشيقة حتى بشكلها، وازداد تلاؤمها الوظيفي لأغراض الإنسان أكثر فأكثر «تطبيقية». وقد استطاع الإنسان بمساعدة تلك الأدوات أن يقوم بأعمال متنوعة جدا، فقطع الأشجار ونظفها من الأغصان والأوراق واقتنص الحيوانات الضاربة، ونبش الجذور التي تؤكل من الأرض، وجنى الثمار من الأشجار العالية. إن الإمكانات العلمية للأدوات الحجرية ليست قليلة. وقد جرب في القرن الماضي مقارنة الفؤوس بأيها يكون العمل أفضل الفأس الحجري المصقول أم الفولاذي العادي. فاتضح أن الفأس الفولاذي أكثر إنتاجية ولكن ليس بكثير. فقد قطعت شجرة قطرها 17 سم في مدة خمس دقائق بالفأس الفولاذي بينما استغرق قطعها سبع دقائق بالفأس الحجري.

نحن لا نعلم-وقد لا نعلم متى حصل ذلك الحدث، وقد يكون أكبر حدث خلال ملايين السنين من تحول سلفنا القديم لإنسان عصري، ألا وهو امتلاك النار: تتفق قصص شعوب العالم وأساطيرها على نحو مدهش: تتفق على المنشأ الإلهي للنار، عن كيفية نجاح أحد سكان السماء، الذي يعمر قلبه الحب للناس والعطف عليهم، في أن يسرق لهم النار ويجعلهم مساوين للآلهة. في تراجيديا إسخيلوس[8] العظيم المسماة بروميثيوس مقيدا يشرح

فيها كيف عاقب الإله بروميثيوس:

إني تحت نير المصيبة أعاني

لأنني أظهرت للناس احتراما

ونقلت إليهم خلسة شرارة النار بعيدان النرتيوك

فأصبحت لكل الفنون معلما

ولكل الفانين بداية الخيرات.

لقد جلب بروميثيوس الإغريقي النار للناس بعيدان النرتيوك - وهو نبات ذو احتراق داخلي بطيء دون لهيب.

ولكن بمثل هذه الطريقة الداهية أيضا كلف الإله أولافايت مالك اللهب، وهو بطل أساطير شعب جزر كراليني، طائره المخلص مفي بنقل النار إلى الناس. وفي الأناشيد الهندية القديمة يحكى أن إله النار أكيني ولد في الغابة كالبذار، وانتشر هنالك بين النباتات. قد يكون القدماء اعتقدوا أن النار موجودة دائما في الشجرة، ويجب أن نحصل عليها من هناك بكل بساطة.

امتلاك النار جعل الإنسان أقوى بما لا يقاس. وقد عبدت النار كما يعبد الإله، وحوفظ عليها عبر القرون، ففي البداية لم يستطع الإنسان أن يحصل على النار فأشعلها من نار غيرها، عندما تحدث الحرائق في الغابات أو تثور البراكين. وقد اكتشف علماء الآثار عندما أجريت حفريات في كهف شوجو كو ديان بالقرب من بكين آثار شعلة نار ظلت متقدة باستمرار في المكان نفسه 500 ألف سنة.

لقد كان الاكتشاف الجديد العظيم، وهو تعلم الناس الحصول على النار، الخطوة الأولى لامتلاك قوى الطبيعة.

وضع باحث من شبه جزيرة كمشاتكاس. ب. كراشينينكوف، في أعوام 1937 - 1941 أول وصف مفصل عن حياة السكان الأصليين لشبه الجزيرة تلك (إيتيلميني) - الذين استعملوا في ذلك الزمن تقنية المجتمع البدائي. يقول كراشينينكوف في بحثه المفصل «وصف أرض كمشاتكا» عن طريقة حصول الكمشاتكيين على النار: «كانت القدّاحات ألواحا مصنوعة من الخشب الجاف ثقبت في نهايتها ثقوب مدورة، وبتدوير أعواد من الخشب الجاف في تلك الثقوب حصل الكمشماتكيون على النار. وعوض عن الصوفان[9] استخدموا عشبا مهروسا (تونشيتش) نفخوا من أعلاه الهباب المحترق، وكان الكمشاتكي يلف جميع لوازم الإضاءة بقشر شجر البتولا ويحملها معه. والآن ينقل الناس قدّاحاتهم المفضلة على قدّاحاتنا، وذلك لأنهم لا يستطيعون الحصول على النار منها بسرعة كما من قدّاحاتهم».

بهذه الطريقة بالضبط، وعبر القرون، حصل الإنسان على النار. ففي الأعياد الوثنية التي بقيت في أوروبا حتى القرن التاسع عشر تقريبا، كانت الشعلات الطقوسية توقد حتما من النار الناتجة عن الاحتكاك.

بعد ذلك بكثير، وعندما عرف الحديد ظهرت القدّاحات فيه. هكذا

يقال على نحو «كلاسيكي» تجسدت فيه. وظلت كذلك قرونا عديدة تقريبا دون تغيير. وحتى في أحد رموز الحياة العصرية - وحتى الآن يستعمل في القداحة الغازية مبدأ القدح. ولم ينفصل الإنسان على ما يبدو عن تقاليده التي استمرت آلاف السنين إلا في السنين الأخيرة حين استعملت القدّاحات الكهربائية، إن الشرارة في تلك القداحات ليست ميكانيكية بل ذات منشأ كهربائي.

من الواضح أن النار قد استعملت في البداية من أجل التدفئة والإضاءة فقط، ثم استخدمت من أجل طهو الطعام. ولكن الثابت للعلماء أن إنسان نياندرتال، على كل حال، قد أكل اللحم المشوي. وقد غيّر ذلك تدريجيا حتى المنظر الخارجي والطاقة الجسمية للإنسان، إذ جعله أقوى الحيوانات الثديية. ومن المعروف أن أكبر الحيوانات الثديية يصرف في حياته 125 ألف كيلو كالوري لكل كيلوغرام من وزنه، أما الإنسان العصري فيصرف ستة أضعاف ذلك الرقم أي 750 ألف كيلو كالوري تقريبا.

إن النار نظمت أيضا حياة الإنسان تدريجيا وأصلحته هو نفسه. وليس عبثا أن جميع الشعوب مرت، في إحدى مراحل تطورها، بمرحلة عبادة النار، وإله النار في كل ديانة تقريبا هو أحد أكثر الآلهة جبروتا.

ولعل أهم شيء في امتلاك النار هو شعور الإنسان أنه ليس عبدا للطبيعة بل ند لها، وذلك بإخضاعه لواحدة من أرهب قوى الطبيعة.

ولكن إمكانات توليد الطاقة عند الإنسان ظلت، كما في السابق، محصورة بقوة عضلاته ومتانة عظامه. وخلال الملايين الثلاثة من السنين من تاريخ الإنسان استطاع في نشاطاته المختلفة الاعتماد على عضلاته فقط، وفي الواقع لم يكن عنده منابع أخرى للطاقة. ويبدو بحسابات بسيطة، أن الرجل يملك وسطيا، خلال تطوره الفيزيائي، «استطاعة» قدرها 0,1 حصان، وهي استطاعة تكفي الإنسان لكي يحصل على رزقه الضئيل ويحصن نفسه بمخبأ بدائي يقيه من الطقس الممطر. في الأزمنة القديمة اكتُفي بذلك.

كانت المنابع الأساسية للبقاء هي الصيد والالتقاط. ولم يغير الناس مكانهم إلا عندما تضمحل منابع الرزق في المكان القديم أو تحصل كارثة طبيعية تجبرهم على البحث عن مأوى جديد. لقد كان الناس في ذلك الزمن سريعي النهوض: بضع أدوات صوانية، قليل من الجلد لبناء خص،

نعم والنار الغالية الثمن، هذا هو كل متاعهم. إن المقر القديم الذي هو ممر في الغابة أو فسحة في حرج، والأقسام المحترقة من الغابة، سرعان ما تعود، بعد فترة من الزمن إلى ما كانت عليه، ولا يبقى في ذلك المكان ما يذكرنا بأنه قد تضوأت من قبل ههنا حياة إنسانية.

مضت أيام القبيلة البدائية ببطء ورتابة. وخلال رحلات الإنسان ونشاطاته البطيئة استوطن الأرض تدريجيا، واستصلح مساحات جديدة، وعرف العالم.

بيد أن تسلق الشجرة عبر ملايين السنين من التطور لم يمر بلا أثر. لقد تغيرت الأدوات وتطورت، وتطورت اليد التي استعملتها. تطور الدماغ الذي وجه تلك اليد. واستمرت ببطء وصعوبة عملية «تطور الإنسان» عبر ملايين من السنين، إلى أن ظهر على الأرض، على سبيل المثال، من أربعمائة قرن، إنسان كرومانونسكي[10]، الذي امتلك كوكبه بسرعة (طبعا بمقياس الزمن المقدر بآلاف السنين)، ذلك الإنسان الذي وجد عالم الآثار الفرنسي لارته رفاته تحت طبقة سميكة من الترسبات عبر قرون عديدة، في مغارة كرومانون. وقد أعاد علماء السلالات البشرية وعلماء التاريخ والنحاتون تكوين الرفات على هيئة الجمجمة لأولئك الذين تنتمي إليهم أول خمسة هياكل عظمية حصل عليها.

ووضعت الهياكل أمامنا بشكلها الجميل والقوي والشبيه تماما بنا. إن هؤلاء الناس لم يعرفوا بعد الزراعة وتربية المواشي ولم يعرفوا شيئا عن المعادن، ولكنهم كانوا جاهزين لخوض قتال فردي ضار مع قوى الطبيعة.

تطورت أدوات العمل بسرعة، وأصبحت أكثر تنوعا. فإذا استعمل إنسان نياندرتال ثلاث أدوات بدائية أو أربعا (قواطع، فؤوس حجرية قليلة الإتقان، مقاشط لسلخ الجلود)، فقد وجد مع رفات إنسان كرومانونسكي عشرون من الأدوات الحجرية والعظمية: إبر، مسلات، أسنة للرماح. ووجد علماء الآثار أول مقويات للعضلات: القوس والرمح، التي سهلت عملية الصيد جدا.

المعاونون الأوائل

كان الكلب أول الحيوانات المدجنة، هذا أمر ثابت على نحو أكيد. وقد

وجدت عظام كلاب أثناء الحفريات في موطن إنسان العصر الحجري القديم، وهي الأجداد الأوائل لتلك الأعداد الكثيرة الحالية من أجناس الكلاب. وقد يكون أسلافنا نظروا في البداية إلى الكلب باعتباره احتياطا مساعدا للطعام بكل بساطة.

بيد أنهم أخذوا بالحسبان خواص نوعية أخرى قيمة عند ذلك الحيوان: إذ تبين أن الكلب قادر على أن يحذر مسبقا من اقتراب وحش أو سارق، ويساعد على اقتفاء أثر فريسة مطلوبة. ويمكن أن يستخدم حتى في الجرّ. عندما أدرك الإنسان البدائي أن الحيوانات البرية يمكن أن تصبح مساعدا وفيا، ابتدأت محاولاته لتدجين جميع الحيوانات التي تحيط به، حتى السباع والطيور. وقد نجح التدجين أحيانا، وأحيانا لم ينجح. فمربي المواشي مثلا لم يفلح في تدجين وحيد القرن - آلة حية مقاتلة - أو فرس النهر - مستودع من اللحم ذاتي الحركة - ولكن الفيل من ناحية أخرى لا يزال صديقا للإنسان حتى الآن.

منذ تسعة إلى عشرة آلاف سنة وصلت الإنسانية إلى حدود جديدة. ازداد تطور الأدوات الحجرية، ابتدع أول الحيوانات البيتية «ثورة العصر الحجري الحديث»، كما يسميها بعض المؤلفين، فقد تم الانتقال من الصيد والالتقاط إلى الزراعة وتربية المواشي.

إن أول الحيوانات البيتية، ثم أول القطعان، غيرت تغييرا كاملا نمط حياة الإنسان. إن القطيع ليس فقط احتياطيا من اللحم والجلد، إنه أيضا شواغل إضافية كبيرة، فيجب إطعام الحيوانات حتى في الشتاء عندما يكون العلف في كل مكان نادرا أو غير موجود. في ذلك الوقت كان العلف الشتوي الأساسي، كما وضح الباحثون، أغصانا غضة من شجر الزيزفون والبتولا والدردار. كان من الضروري قطع تلك الأغصان، ولذلك لم يكن بإمكان مالك الحيوانات ترك فأسه الحجري من يديه، بالمعنى الحرفي للكلمة.

وقد احتاج الإنسان إلى أدوات أخرى، لا إلى الفؤوس الحجرية فقط، وإنما إلى المناجل والمعاول أيضا، واحتاج إلى حيوانات بيتية أخرى، لا إلى معاونين سريعي الحركة في الصيد، وإنما أقوياء أيضا، ولتكن الثيران البطيئة والقادرة على جر المحراث أو عربة المحصول.

نعم، حتى الإنسان نفسه كان عليه أن يتغير، أن يكتسب خبرات ومعارف جديدة. ولما لم يكن هناك مكان يستطيع المزارع فيه أن يحصل على الجلد للملبس، فقد نشأ الغزل والنسيج. واحتاج الإنسان أكثر فأكثر إلى الأواني- فتطورت حرفة الفخار. وكان التعدين قد تطور بسرعة في العصر الحجري الحديث. ووجد كثير من مناطق الاستخراج القديم للصوان، في السويد وإنجلترا وفرنسا وبولونيا وألمانيا، وفي أوكرانيا وخلف الأورال وفي مولدافيا. استخرج الصوّان وقتئذ من سطح الأرض، مع أنه في أحدث المناجم يستخرج من آبار عمودية عديدة تتفرع منها سراديب أفقية. وفي مكان استخراج الصوّان صنعت الأدوات الحجرية وخزنت، ثم أرسلت إلى المستهلكين عبر مئات الكيلومترات. وأصبح حتميا ظهور تقسيم جلي للعمل: فواحد من القبيلة استخرج الصوّان، وآخر صنع أدوات عمل منه، وآخر اهتم بالتسويق. فنشأت تركيبة اجتماعية معقدة، وفي بناء تلك الكتلة الصخرية للنظام القبلي ظهرت أولى الصدوع.

وإلى ذلك الزمن تقريبا ينتمي أيضا نشوء علم الفلزات، وقد اعتمد في البداية على النحاس وخلائطه - البرونز. وقد تطلب علم الفلزات من الصانع الماهر القديم خبرات جديدة وتعمقا في التخصص.

وأخذت المقايضة ووسائل النقل تتطور، فتوسعت حلقة اختلاط الناس، مما أدى إلى تبادل شديد للأفكار والمعارف والمهارات. فنمت متطلبات الإنسان ومن ضمنها حاجته إلى الطاقة.

إن كل مرحلة جديدة للتطور التاريخي وتعقد في النشاط الاقتصادي كان يؤدي على نحو حتمي، إلى احتياج إلى القوى، وإلى التناقض بين الإمكانات والأمنيات.

من منابع العلم

في نهاية الألف الخامس وبداية الألف الرابع قبل الميلاد تشكلت أولى الدول. وقد كانت تلك الدول زراعية طبعا، لأن الفلاحين وحدهم هم الذين قادوا الشكل الحضري للحياة في ذلك الزمن. وبمقدار ما كانت الحاجة إلى المياه لري الحقول نشأت الدول غالبا بالقرب من الأنهار الضخمة.

تميز هذا العصر باختراعات عظيمة أهمها الدولاب.

ظهرت عند السومريين منذ عام 3500 قبل الميلاد، عربات ذات عجلات ما لبثت أن انتشرت بسرعة عند الأقوام الأخرى. وقد سمحت العربات نسبيا بنقل الخامات والمعادن والمصنوعات الضخمة بسهولة. وازدهرت صناعة الفخار والغزل والنسيج والصناعات اليدوية المتنوعة. في وثائق الألف الثاني قبل الميلاد ذكر الفخاريون والنجارون والحذاؤون والنساجون. ولم تعد نادرة أدوات العمل البرونزية. وحاليا حتى الحلي يصنعونها من البرونز. وقد بدا وكأن النعم قد كثرت على الأرض: فكل واحد وجد لنفسه مكانا في الحياة، وجميع أنواع العمل محترمة، وكل إنسان يعمل ما ترتاح إليه نفسه.

وهنا انفجرت أول أزمة للطاقة في تاريخ البشرية-فقد اكتشف نقص كارثي للطاقة. ولن ننسى هنا أن الكلام يجري عن عصر الطاقة الحية، حين كانت المنابع الوحيدة للطاقة، هي القوة الشخصية للإنسان وقوة الحيوانات. وفي غضون ذلك تطلبت الزراعة المروية بناء منشآت السقاية، وتعقد استخراج الخامات أكثر فأكثر، بمقدار ما نفدت المكامن المتوضعة بالقرب من الطبقة السطحية.. ونصت المتطلبات المتعلقة بالحروب. واحتاج الأمر أكثر فأكثر إلى إنتاج السلع للتبادل. ولذلك لم تعد قوى العضلات الخاصة تكفي تماما. وللخروج من هذا الوضع كان يجب أن يعمل أحدهم، للآخر، أن يصبح عبدا له. هكذا يمكن أن تكون، من وجهة نظر توليد الطاقة، محاولة شرح ظهور الرق ومجتمعات الرق. ومن الطبيعي أن وجهة النظر تلك تعكس ذلك القسم من اللوحة الذي يهمنا هنا مباشرة.

إن استعمال القوة العضلية للعبيد استعمالا واسعا زاد إمكانات توليد الطاقة في المجتمع. وسمح بالسير خطوة للأمام. وقد تطلبت جهودا هائلة أعمال الري والسقاية لأراضي الشرق القديم كله: مصر وبلاد ما بين النهرين وآشور.

وبمساعدة العبيد فقط كان ممكنا شق القنوات من أجل الري أو تحويل المياه من الأماكن المغمورة بها. أوروكغينا الذي استولى على السلطة في لاغاشة، إحدى المدن القديمة لآشور، في بداية الألف الثالث قبل الميلاد، أقام في عاصمته خزان ماء احتياطيا سعته أكثر من مائتين وعشرين ألف لتر، وقد استعمل في سقاية الحقول في أوقات الجفاف. إن الحفريات قد

ساعدت على إيجاد شبكة مجار مائية معقدة ومتفرعة، مقامة على قناطر مرتفعة، تعمل منذ قديم الأزل في آشور. نبوخذ نصر أحد القياصرة المشهورين الأخيرين في بابل يسمى نفسه بزهو: «مغرق الحقول». هيرودوت يخبر منذ أربعة آلاف سنة أنه في منطقة الجبال الليبية قد غير السد الاصطناعي جريان النيل وأجبره على السير في مجرى جديد، وفي مكان المجرى القديم بنيت مدينة ممفيس.

لقد شيدت الجيوش الجرارة من العبيد منشآت ضخمة، كأهرام مصر الذائعة الصيت، التي مجدت الفراعنة في حياتهم وأمنت لهم الراحة في عالم الغيب. إن كمية العمل المبذولة في بناء الأهرام تدهش. فهرم خوفو بناه مئة ألف عبد في ثلاث عشرة سنة. لقد توضع مليونان وثلاثمائة ألف من الكتل الحجرية الضخمة بدقة بحيث لا يمكن حتى الآن إدخال إبرة بينها، وكونت ذلك الهرم العملاق الذي يرتفع إلى نحو مئة وخمسين مترا (أي ما يوازي بناء من خمسين طابقا تقريبا!).

ازداد عدد العبيد، وزاد الطلب على قوة عملهم. وقد استخدم كثير من العبيد في النسيج. عرف النسج في كل مكان في العالم منذ أربعة آلاف سنة قبل الميلاد، ولكن الاكتشافات الأثرية العديدة للأنوال البدائية في المقابر القديمة تدل على أن النسج أقدم من ذلك بكثير. ولكن إذا كان النسج قديما مهنة بيتية واشتغل به كل فلاح عندما لم يكن عنده أعماله حقلية، فقد أنشئت في مصر القديمة ورشات للنسج، مما سمح بإنتاج المنسوجات بكميات كبيرة حتى أصبحت مادة للتصدير.

ولقد كانت آلات الحياكة، بالطبع، بعيدة عن التطور. هاكم وصفا، في إحدى أوراق البردي القديمة، لعمل الحائك: «الحائك داخل البيت، وهو أسوأ حالا من المرأة، رجلاه على بطنه. لا يتنفس الهواء. وإذا لم يعمل في اليوم نسيجا كافيا ارتبط مثل اللوتس في المستنقع. يعطي الخبز للبواب حتى يستطيع أن يرى النور».

كانت أعمال التعدين الصعبة ترتكز على عمل العبيد وحدهم أيضا. ومن أجل بناء المعابد والأهرام والقصور كانت هناك حاجة إلى كثير من الحجارة، وتطلب علم الفلزات النامي خامات أكثر. ولقد كانت طرق المعالجة، بالطبع، بدائية جدا: تدخل أسافين خشبية في شق صخرة، ثم تسقى بالماء،

فتنتفخ الأسافين ويتسع الشق، ثم تعاد الكرة مرات عديدة إلى أن ينفصل القسم الحجري المطلوب أو الحافة المطلوبة. هكذا يصف تيودور سيتسيليسكي مناجم الذهب النوبية: «يستخرج الذهب مراقب الرقيق في الأعمال المنجمية، يساعده عدد كبير من العمال. ويمتاز هؤلاء بأنهم مجرمون محكومون، وأسرى حرب، أو من الملاحقين غالبا بسبب أخطائهم، والذين زج بهم في زنزانة في ثورة غضب عليهم، ومجموعات متنوعة من الأشقياء الذين يجلبون إلى العمل المنجمي بهذه الطريقة، بأعدادهم الكبيرة جدا وبقيودهم، يجبرون على العمل ليل نهار دون راحة، تحت حراسة مشددة، حتى يفقدوا كل أمل في الهرب». ومن هذا المقطع تعرف حتى مصادر الحصول على العبيد: الحروب، المجرمون، المحكومون، وغالبا وببساطة استبداد «أولياء الأمر».

ومع وجود الحرف أخذت التقنية تتطور شيئا فشيئا. ولقد استعمل في الحقيقة كثير من الآليات - والتي تذكرنا بالقوس والسهم والدولاب وعجلة الفخار وآلة النسيج البدائية - استعمالا كافيا منذ زمن بعيد، ولكن الإنتاج المتنامي وأعمال سقاية الحقول والبناء تطلبت آلات جديدة أكثر تطورا.

لقد حقق اختراع البكرة انقلابا في البناء التقني-وأولى الوثائق الصحيحة عن استخدامها في آشور تنتمي إلى القرن الثامن قبل الميلاد. وفي مصر اخترع الشادوف (منشأة قديمة لرفع الماء، هي في الحقيقة وببساطة دلو معلق في نهاية ذراع).

استخدام الحيوانات البيتية، كالأحصنة، والحمير، والثيران. ففي بلاد ما بين النهرين، وفي عهد أوروكغينا، استخدمت دواليب تغرف الماء وترفعه وتحركها بغال أو ثيران. وفي كتاباتهم المتبقية يذكرون «ثيران الآلهة، التي استخدمت لري الحقول».

في النصوص الأقدم أيضا، وهو أمر ذو أهمية، ذكر «حمار جهاز الإرواء». مما ينتج أنه يمكن، لو أريد ذلك، حتى متابعة الانتقال من طاقة الحمير الأقل إنتاجية إلى طاقة «الثيران». وقد تم مثل هذا الانتقال من الحمير إلى الثيران عندما تطور المحراث: فلم يكن الحمار الضعيف قادرا على جر أدوات الحراثة الثقيلة، والتي تتصل أحيانا بمبذرة.

واجه القدماء أيضا مشاكل في توليد الطاقة، شديدة الشبه بالمشاكل

العصرية. فقد قرر علماء الآثار في بحوثهم الحديثة التي درست مصر القديمة، أقدم مراكز الصناعة التعدينية والفلزية في الشرق، أن سبك النحاس قد توقف فجأة قبل حوالي ألف سنة قبل الميلاد. فما السبب الذي دفع المصريين إلى التوقف عن ذلك الإنتاج الضروري ضرورة ماسة؟ ثم تبين أن السبب يعود إلى نفاد فحم الخشب في مكامن استخراج النحاس.

لقد سبك عماله الفلزات، حسب تقدير العلماء، خلال ألف سنة من استثمار مكامن النحاس، نحو مئة طن من النحاس. قد استطاع فرن واحد من ذلك البناء الذي استعمل في ذلك الوقت أن يعطي نحو مئة كيلوغرام من النحاس خلال فترة استثماره كلها. مما يعني أنه في تلك الأزمنة البعيدة كان المصريون يملكون معملا فلزيا كاملا فيه آلاف الأفران التي أذابت المعدن. وقد حصلوا على الفحم الخشبي من جذوع النخيل المتوافرة هناك. ولكن، خلال ألف سنة، قطعت غابات النخيل القريبة من المكامن بالتدريج. ولم يعد الوقود يكفي. وهكذا انطفأت أفران الصهر واحدا بعد آخر، حتى انطفأت كلهما. وأدت أزمة «الطاقة» إلى إيقاف إنتاج ذلك المعدن الذي لا بديل له مطلقا في حياة المصريين.

تأثرت الزراعة عند المصريين كثيرا بفيضانات النيل، وكان من الضروري تحديد زمنها بدقة كافية. وأصبح مفهوم الزمن أكثر دقة وتطورا، فظهر التقويم، وقسم الزمن إلى سنين وشهور، وقسمت الأيام إلى ساعات، والساعات إلى دقائق.

راقب البابليون القدماء حركة الكواكب السماوية بدقة، وتمكنوا بجمعهم لمعطيات سنين عديدة، من التنبؤ بدقة بمختلف الظواهر السماوية، كخسوف القمر. وقد أدت الحاجة إلى تحديد قياسات قطع الأرض وبناء شبكة الري إلى نشوء علم الحساب وعلم الهندسة، كما أجبرت الضرورة إلى حساب المحصول وتحديد الاحتياطيات والحسابات المشتركة بين الناس والحكومات على اختراع الكتابة.

احتاج الحرفيون، عمال الأحجار والبناؤون، عند إنشاء المعابد والقصور وغيرها من الإنشاءات العديدة الضخمة إلى امتلاك تصميم بدائي على الأقل. وكان من الضروري، وفي كل خطوة من عملية البناء، قياس طول الجدران الحجرية وعرضها وسماكتها، وقياس عرض الأبواب والنوافذ

وارتفاع الأعمدة الحجرية. فظهرت «المقاييس الطبيعية» - المرفق والقدم والشبر.

استدعى عمل البناء في الحياة الميكانيكي. واحتيج في البناء، على نحو حتمي، إلى نقل أوزان أثقل ورفعها إلى أعلى. وقد كان من المستحيل الاستغناء عن الأذرع وعن الأنواع المختلفة من المداخل والمنزلقات والبكرات. مما ضاعف إمكانات قدرة الإنسان.

ما أقل ما نعرف عن منجزات الحضارة القديمة!، وما أكثر ما أرغمتنا اكتشافات علماء الآثار على الافتتان بإتقان المهرة القدماء وأثارت دهشتنا تنبؤاتهم واختراعاتهم!

لقد عثر في تايلاند منذ بضع سنين على مستوطنة قديمة لأناس العصر البرونزي. وقد تبين أن سكان تلك المستوطنة عرفوا السبائك المعدنية منذ خمسة آلاف سنة قبل الميلاد، أي عندما ولدت الحضارة المصرية القديمة. وفي عام 1968 اكتشف علماء الآثار السوفييت على أراضي أرمينيا مصنعا تعدينيا يعود إلى ما قبل التاريخ بكل ما في الكلمة من معنى: ففي عام 4500 قبل الميلاد عمل هنا مئتا فرن أذيب فيها المعدن لصناعة المزهريات والسكاكين وأسنّة الرماح والسهام والعقود وغيرها من المصنوعات المعدنية. وعرف الصناع خلائط النحاس والرصاص والزنك والحديد والذهب والمنغنيز.

وقد وجد في مصر شيء ما يوحي بأنهم قديما قد حلموا بالطيران. فالدكتور خليل مسيحة العامل في مخطوطات متحف القاهرة اكتشف بين هياكل الطيور المصنوعة بين القرنين الرابع والثالث قبل الميلاد شيئا ما يذكر كثيرا بنموذج طائرة أحادية السطح، مع توضع مرتفع للجناح، وشكل شبيه بقطرة ماء، مع تضييق في ذنب جسم الطائرة، وهو متوج بمثبت عمودي. وقد اختيرت جميع قياسات النموذج بذكاء بحيث إنها من وجهة نظر الاختصاصيين تأخذ بالحسبان وعلى نحو مثالي المقاومة الجبهية. وتنطبق هندسة الجناح تقريبا على الدوائر السطحية لطائرة النقل الأمريكية (هيركوليس).

ومنذ ثلاثة آلاف سنة بنى قدماء الفرس تحت الأرض ممرات مائية نقلت إلى حقولهم مياه الينابيع الجبلية. إن شبكة الري هذه تقوم بوظيفتها اليوم مؤمنة ثلاثة أرباع حاجة المزارعين الإيرانيين من المياه لسقاية الحقول.

ومنذ أكثر من خمسة آلاف سنة استعمل مكان تل أسمر في سهل دجلة بالقرب من بغداد، أنابيب مياه وشبكة مياه للمجاري.

في عام 1936، وجد عالم الآثار الألماني الدكتور ولهلم كيونغ، أثناء الحفريات التي أجريت على مشارف بغداد، وعاء غامضا لم تنته المناقشات حول الغاية منه إلى يومنا هذا. وذلك الوعاء بسيط جدا، فهو عبارة عن إناء فخاري طوله 28 سم في داخله اسطوانة نحاسية مفرغة وقلب حديدي مثبت في المركز بسدادة أسفلتية. إنه جمع غريب بين معدنين يفصل بينهما عازل. وقد اضطر العلماء إلى وضع نظريات مبالغة عن الغاية من هذا الوعاء. فبعضهم قدم اقتراحا مقنعا تماما وهو أن هذا الوعاء الوقور (عمره أكثر من ألفي سنة) ليس سوى بطارية غلفانية. وفي الواقع عندما جرب المخبريون غمر الوعاء بالإلكتروليت (منحل بالكهرباء) قديم سهل المنال-ماء البحر مع خل أو نبيذ، حصلوا من ذلك على مولد للتيار بجهد (فرق كمون) 0,25 - 0,5 فولت وشدّة 0,5 - 5 ميلي أمبير.

ولكن لماذا احتاج القدماء إلى بطارية غلفانية؟

نتذكر أنه ذكر عند المؤرخين اليونانيين والرومانيين القدماء صناع عاصروا كليوباترة «مالكو عمل الذهب». ولكن أيمكن أن يكون الصنّاع القدماء عرفوا الطلي بالغلفنة؟ إذا جمعت عدة عناصر فيمكننا تماما إيجاد عملية الطلي بالذهب، إذن يمكن طلي تمثال صغير بمساعدة مثل هذا المولد التياري بطبقة رقيقة من الذهب بها لا يزيد على ساعتين أو ثلاث.

وقد ذكر في المجلة الأمريكية «الكيمياء» - كيمستري - اقتراح آخر حول هذا الوعاء. إذا سكب فيه بدلا من الإلكترويت (المنحّل بالكهرباء)، مادة عازلة كزيت الزيتون مثلا، حصلنا على مكثف، فضلا عن أنه ذو سعة ملحوظة تماما. وإذا شحنّا ذلك المكثف عدة مرات بنقل الشحنة إلى القضيب بأي قماش شاحن، فيمكن أن نحصل بعدئذ من هذا الوعاء على شحنات كافية القوة. كاتبو المقالة رأوا أنه بمساعدة مثل هذا التفريغ (أي تلك المكثفة) استطاع الكهنة عرض قواهم. ونتذكر عندئذ: أن علاء الدين لما أراد أن يستدعي الجنيّ الجبار احتاج أن يفرك (قد يكون أوصل الكهرباء عندئذ) مصباحه السحري!

وقد استعمل سكان بابل القدماء، على نحو واسع، المزج المملوءة بالنفط

لإنارة مساكنهم. وحتى كلمة «نفط» نفسها نشأت في بابل القديمة.

ومع ذلك ولدت التقنية الساذجة للقدماء، والجامدة بالنسبة للتقنية المتطورة. وإليكم مثالا بسيطا. كان الثور أول حيوان مدجن استعمل قوة شد، وهو مخلوق قوي ذو رأس منخفض نحو الأسفل ورقبة سمينة. وقد اخترعوا من أجله عدّة مناسبة، اللجام الذي توضّع على مقدمة الظهر. ولكن عندما دجن الحمار الوحشي والحصان، ولأجل اختراع عدة مناسبة لهما، لم يستخدموا اللجام نفسه. وقد ضاع هباء ثلثا القوى المفيدة للأحصنة - لكي تزال مقاومة عدة الدابة غير المريحة تماما. وقد تطلب ثلاثة آلاف سنة من أجل اختراع عدة متطورة ذات قبة-هذه العدة لم تظهر إلا في القرون الوسطى.

العبد المهمل.. أو أزمة الطاقة في مجتمع الرق

في القرنين السادس والخامس قبل الميلاد انتقل مركز الحضارة الإنسانية إلى جنوب أوروبا. وابتدأ عصر الإغريق وعصر خليفتهم الإمبراطورية الرومانية. من الصعب إعادة تقييم إسهام الحضارات العظيمة في خزانة الفكر. كانت هذه المرحلة عندما «تعلمت الإنسانية أن تفكر» وحاولت التأثير في العالم المحيط بوعي.

ولقد أدى السعي لفهم أسباب الظواهر إلى اكتشاف عدد من القوانين العامة، وإلى ولادة المفاهيم التجريدية. وتبين أن عالم الطبيعة يتحرك بفعل عدة قوانين. إن التصورات الساذجة المزدحمة عن القدر الظالم اللامعقول المبني على قوانين الطبيعة على نحو حتمي، شغلت مكانا في لوحة العالم، التي شكلهما الإنسان. لقد حدثت ثورة هائلة في الوعي الإنساني عندما وضع الأبطال الطامحون أسئلة وقدموها إلى الطبيعة نفسهما وحاولوا الحصول على أجوبة عنها.

منذ البداية شغل تركيب العالم بشكله الكامل الإغريق، وقليلا ما ركضوا وراء الأوهام التخيلية، فقد رأوا في العالم المحيط روابط مشتركة للظواهر، وتطورا مستمرا وتغيرا.

تجلت عند مفكري المدرسة الإيونية القديمة طاليس وأناكسمندر وأناكسيمنس أفكار عن تطور الطبيعة ووحدة العالم بوضوح كاف. وأما

هيراقليط فقد رأى أن أحدا من الآلهة أو البشر لم يخلق العالم، وإنما كان ويكون وسيبقى أبدا نارا حية تستعر بمقدار وتنطفىء بمقدار. ديموقريط وبعده أبقور اقترحا فرضية عن بناء المادة من جزئيات صغيرة لا تتجزأ هي الذرات. أفلاطون أسس المدرسة العلمية الأولى في تاريخ البشرية: الأكاديمية، وتلميذه أرسطو اقترح نظاما متكاملا علميا فلسفيا مستوعبا في نفسه أهم المنجزات الفكرية للعالم القديم.

كان أرسطو ابن نيكوماخوس طبيب بلاط الإمبراطور أمونتاس الثاني المقدوني، ولد في ستاجيرا، وهي مدينة صغيرة في شبه جزيرة تراقية (خالكيديا). وعندما بلغ السابعة عشرة من عمره ذهب إلى أثينا والتقى هناك بأفلاطون والتحق بأكاديميته. وبعد موت أفلاطون ترك أثينا وأمضى عدة سنين زاهدا على شواطئ آسيا الصغرى. ثم قبل دعوة فخرية من الإمبراطور المقدوني فيليب الثاني لتربية ابنه الإسكندر، الغازي الكبير فيما بعد. بعد ثلاث سنوات عاد أرسطو من جديد إلى أثينا ليؤسس ويدير مدرسته العلمية: لوكيون. غير أنه بعد موت الإسكندر المقدوني وانهيار الإمبراطورية التي أنشأها اضطر من جديد إلى أن يترك أثينا. فهرب إلى جزيرة أوبا حيث توفي سريعا عن 63 عاما.

تشكل مؤلفات أرسطو موسوعة معرفة ثمينة، هي العمود الفقري للعلم. وهو الأول في التاريخ الذي أعطى تعريفا للفيزياء باعتباره علما عن الطبيعة. وقد أصبحت آراؤه النظرية عن إمكان تحول المواد غير العضوية إلى مواد عضوية أساسا نظريا في القرون الوسطى للكيمياء. كانت سمعة أرسطو عالية، حتى إن ادعاءاته التي هي غير صحيحة، عدّت حقيقة خلال مئات عديدة من السنين. كادعائه القائل: إن سرعة سقوط الأجسام تتعلق بوزنها (ذلك الرأي الذي يمكن أن يدحض بسهولة).

بعد موت أرسطو انتقل دور المركز العلمي للعالم القديم إلى المدينة التي أنشأها الإسكندر المقدوني في دلتا النيل: الإسكندرية المصرية. بطليموس سوتر الأول حاكم هذه المنطقة، ومؤسس سلالة البطالمة الملكية المصرية، تودد إلى ديمتري فاليرسك تلميذ أرسطو وكلفه إنشاء مدرسة لوكيون جديدة. إن هذا العمل قد باشره ديمتري ريانو، وقام بجمع مؤلفات أرسطو قبل كل شيء، ونشأت تدريجيا حلقة تلاميذ.

وهكذا نشأت مدرسة علمية مشهورة أخرى مركزها الإسكندرية، ومكتبتان اثنتان حوتا سبعمائة ألف مجلد.

قد يكون مركز الإسكندرية أول مثال على تنظيم أبحاث علمية جماعية. فقد أغرت الظروف الفريدة لتطور العلم خيرة العلماء من كل أصقاع الأرض، وعاشوا على حساب بيت المال فعلا. وقد أسهم مركز الإسكندرية من بين كل مراحل الحضارة الإغريقية والرومانية القديمة إسهامات مهمة في تطور العلوم الطبيعية، وعلى رأسها علم الفلك وعلم الفيزياء. وبفضل أعمال إقليدس الشهير، في تلك المرحلة بالضبط، تطور علم الرياضيات تطورا كبيرا، وعلى الأخص علم الهندسة الذي تحول من علم بسيط عن تغير الأرض إلى علم منطقي كامل متماسك.

كان أرخميدس العظيم أحد العلماء التقليديين للإسكندرية، وهو من الناحية الشكلية لم ينتم إلى المدرسة الإسكندرية. ولد عام 287 قبل الميلاد في سيراكوزا، ونشأ في أسرة نبيلة. كان أبوه فيدي عالم فلك مشهورا ورياضيا، وكان من أقرباء هيرون حاكم سيراكوزا. وفي إبان شبابه عزفه أبوه بعلماء الفلك. إن أرخميدس الشاب لم يقم بالرصد الفلكي وحسب، بل صنع أيضا جهازا متقنا يرصد حركات الكواكب، ويتحرك بالماء. درس أرخميدس أعمال إقليدس، وزار الإسكندرية. ثم حافظ على علاقة ثابتة مع علماء الفلك والرياضيين الإسكندريين.

وكان أرخميدس واسع الاطلاع وموهوبا وموسوعيا نادرا، وهو أحد أوائل المهندسين بكل ما تعنيه الكلمة من معنى واسع. وهكذا بنى الجسور بتصميمه الخاص. وتحت إشرافه شيدت السدود التي تحكمت بجريان نهر النيل، وقد اخترع «لولب أرخميدس» لرفع الماء. ولكنه استطاع أن يثبت سعة عقله وفضل طريقته الهندسية لحل المشكلات في مجال آخر تماما.

إن قلة الأرقام التي وضعها النظام الرقمي الإغريقي أعاقت الحسابات الفلكية. فعندئذ اخترع أرخميدس طريقة جديدة تماما لتسمية الأرقام الكبيرة وتصنيفها في كتابه «بساميت» «إحصاء حبات الرمل». إن دراسته المهمة للميكانيك نبهته إلى وضع «طريقة لدراسة النظريات الميكانيكية»، وقد أهدى هذا المؤلف إلى إيراتوسفين، وقد حل المسائل الرياضية المعقدة بالاستناد إلى علم الميكانيك. وقد تعامل في هذا البحث، على نحو عصري،

مع مفهوم اللانهاية، الذي تراجعت أمامه الرياضيات الإغريقية والرومانية القديمة بهلع. وفي الحقيقة نظر أرخميدس إلى أسلوب إثبات الحقائق الرياضية بالاعتماد على المنطق الميكانيكي، باعتباره أسلوبا تمهيديا، وفي مؤلفاته المتأخرة براهين دقيقة على كثير من النظريات المهمة.

لقد أعد أرخميدس علم توازن القوى (الإستاتيكا)، وعلم توازن القوى المائي (الهيدروستاتيكا).، وأوضح أرخيدس شروط توازن الذراع ليس بذلك الأسلوب المبهم الذي اتبعه أرسطو، بل بشرح رياضي جلي: «تتوازن الكميات المتناسبة إذا كانت الأطوال المعلقة عليها تتناسب عكسا مع أوزانها».

وقد وضع أرخميدس نظرية مركز الثقل، وعرف مفهوم العزم الميكانيكي للقوة. وقد أصبح القانون الذي اكتشفه أرخميدس وشهره على نحو واسع، والذي عرضه في بحثه «عن الأجسام العائمة» أساسا للتصميم العلمي للسفن. وباشتغال أرخميدس بحل لغز التاج المزيف للإمبراطور هيرون، أضاف إلى العلم مفهوم «الوزن النوعي».

في خريف العمر عاد أرخميدس إلى ذلك العلم الذي أحبه في شبابه واستمر يحبه إلى الآن دون توقف: علم الميكانيك، وسلم شعب سيراكوزا سلاح دفاع مرعبا ضد جيش روما. فقد نظم خط دفاع عن المدينة، وصنع أسلحة قاذفة، ذات عارضة ثقيلة، يثقب بها قاع السفينة أو ذات محاجن رافعة، ترفع بها السفينة إلى الأعلى ثم تحطم على صخرة حادة. وقد وصل الأمر الذي استوجب إظهار جبل أو عمود فوق سور المدينة، حتى أصيب جيش روما برعب شديد. وبلغ مارسيل قائد القوات المحاصرة للمدينة درجة من اليأس جعلته يقول: قد نضطر إلى إيقاف الحرب ضد سيراكوزا. وعندما فتحت سيراكوزا أبوابها للعدو بفعل الخيانة، لقي أرخميدس مصرعه بسيف أحد جنود روما، متلفظا كلمات دخلت التاريخ: «لا تلمس رسوماتي». قال سيسرو متحدثا عن أرخميدس: «أعتقد أن هذا الصقلي عبقرية أكبر من أن تستطيع الطبيعة الإنسانية أن تستوعبها».

وقد عمل إلى جانب أرخميدس ميكانيكيون فحول ومخترعون نوابغ آخرون أكبر منه سنا بقليل. مثل كتسيبي - الذي اخترع مضخة مائية ذات أسطوانتين، وقد تم توجيه الجزء المائي (الهيدروليكي) بوساطة الهواء المضغوط، واخترع ساعات مائية تختلف عن القديمة بوجود مؤشر زمني

لها، وكثيرا من الآلات الحربية القاذفة، استعلمت فيها قوة الهواء المضغوط.

فيلون، تلميذ كتسيبي، يصف في مؤلفه «علم الميكانيك» ذي المجلدات التسعة، مجموعة من الأجهزة المهمة والممتعة التي ابتكرها هو أو غيره من الميكانيكيين مثل آلات حربية ذكية، مسرح دمى آلي للعب، مكعبات سحرية، أقماع لسكب السوائل المختلفة، نوافير مع تماثيل تمج الماء وطيور مغردة، جهاز لنقل الماء المقدس إلى المعبد، جهاز آلي للاغتسال قبل دخول المعبد. وقد عرف فيلون مبدأ «السيفون» معرفة لائقة، واكتشف أن الهواء يتقلص إذا برد ويتمدد إذا سخن.

وثمة من هو أشهر من كتسيبي وفيلون، إنه هيرون الإسكندري، وهو مؤلف أبحاث عديدة وصلتنا من خلال الترجمات العربية واليونانية، أهمها علم الميكانيك. لقد أمعن هيرون بالأسئلة النظرية، جمع السرعات بمبدأ متوازي المستطيلات، تعريف مركز الثقل، ووصف بعض الآلات البسيطة: الذراع، دارة اللف، الإسفين، اللولب والبكرة. وبكلمة وصف عمليا جميع الآلات الميكانيكية التي صنعتها التقنية اليونانية والرومانية القديمة.

وبجمع هذه الآلات الميكانيكية البدائية حصل هيرون على نتائج مؤثرة جدا-وينتسب إليه بناء «مسرح الآلات»، إذ تدور محاور الدواليب ومسنناتها بتأثير الثقل النازل فيظهر الأبطال والآلهة الإغريقيون، وبالإضافة إلى ذلك تشتعل النار، ويدوي صوت الطبول، وتبدأ معركة بحرية. ونجد في أعمال هيرون وصف جهاز لقياس المسافة المقطوعة، أو ما نسميه حاليا مقياس المسافة في السيارة «تكسو متر - كيلومتراج». ولكن «الإيوليبل» الشهير يثير فينا اهتماما خاصا - وهو كرة، تدور بفعل بخار يخرج من أنبوبين معقوفين. إن كثيرا من العلماء يسمون هذا الاختراع الطراز الأولي للعنفة البخارية الحديثة. وقد أدهشت مخيلة العصريين الخدعة التي تتمثل في اضطرام النار في الموقد القرباني عند فتح أبواب المعبد.

وبإلقاء نظرة سريعة على العلم اليوناني والروماني القديم يتبين أن منجزات علماء المارة اليونانية والرومانية القديمة كانت مؤثرة جدا. وقد أقدم العلماء، بجرأة العلماء المعاصرين، على حل أعقد الأسئلة، وحاولوا الوصول إلى صميم جوهر الأشياء والظواهر. ومع أنهم كثيرا ما ضلّوا السبيل إلا أن بعض مقولاتهم وأفكارهم، في الحقيقة، كانت عبقرية.

لقد أنجز ذلك العهد البعيد منجزات هائلة في أعمال البناء وفن العمارة. والأعمال الفنية العبقرية لمهندسي العمارة في الحضارة اليونانية والرومانية القديمة - البارثينون والأكربول والكاليزي وغيرها كثير - أدهشت ملايين الناس حتى وقتنا الحاضر.

لقد اعتبر هيرودوت معبد هيري في جزيرة ساموز أعظم إنتاج لفن البناء في العالم، وهو الذي شيد في عهد الطاغية بوليقراط ثم هدم بعد إسقاطه. ويرى هيرودوت السد الذي حمى مدخل هافان في ساموز منشأة رائعة أخرى. وتشهد أنابيب المياه التي كتب عنها أيضا هيرودوت على مهارة البنائين القدماء، وهي التي تمر بنفق طوله كيلومتر، وأنشئ بتصميم إثبالين.

لقد نظر المؤرخون إلى أنباء هيرودوت بارتياب لفترة طويلة. لأن بناء مثل ذلك النفق حتى في وقتنا ليس بالمسألة البسيطة. ولكن عندما عثرت البعثة الألمانية الأثرية على النفق في نهاية القرن الماضي زالت الشكوك كلها. وأكثر ما استوجب الاهتمام كان بناء النفق من جانبي الجبل في وقت واحد، بهدف الإسراع في حفره. وقد وصف هيرون ذلك التركيب الرياضي المعقد الذي وجب إجراؤه من أجل التقاء مخترقي النفق في نقطة محددة في وسط الجبل.

ولكن منجزات القدماء في مجال التقنية، التي تسهل عمل الإنسان وتجعله أكثر إنتاجية، كانت عمليا تساوي الصفر. طاحونة الحبوب اليدوية، آلات رافعة بسيطة - هذه هي كل ترسانة الأدوات الفقيرة. فلماذا كانت منجزات العصر الذي أعطى العالم علماء ومهندسين معماريين عباقرة وشعراء ونحاتين، في هذا المجال بمثل هذه الدرجة من الضحالة؟.

لعله لم توجد وقتئذ موجبات اضطرتهم لاختراع آلات خاصة من أجل الاستعاضة عن العمل اليدوي. إن العمل العضلي تحقق بأيدي العبيد. وقد استعمل العبيد في كل مكان. فهم الذين خبزوا الخبز، ونسجوا، وغزلوا، وطرزوا. لقد استعملوهم في ورشات المهن اليدوية، وفي البناء، وفي المناجم وفي مقالع الحجارة.

وخدم العبيد كتبة وأمناء سرّ، وأداروا محفوظات المعبد والحكومة. وأداروا أحيانا حتى قرى كبيرة.

لقد توقف العبيد في عصر «الطاقة الحية»، على حد تعبير أنجلز، عن

أن يكونوا معاونين بسطاء، وكانوا يسوقونهم بحشود كاملة إما إلى الحقل أو إلى الورشات.

هكذا، مثلا، يصف هوميروس العمل المضني في طاحونة الحبوب اليدوية الملقى على عاتق العبد وحده:

على هذه الطاحونة اثنا عشر
عبدا كان، وكل يوم من الصباح الباكر إلى غياهب
الليل طحنوا شعيرا ودخنا هناك من أجل البيوت.

وفي مكان آخر من «الأوديسة» يصف أوذيسيوس المدهش الخيال، والمساوي للآلهة، قصر ألسينوس الفاخر، حيث:

عاش في القصر الفسيح خمسون من عمال اليد الأرقاء.
فطحنوا بأرحاء يدوية جودارا ذهبيا.
وفتلوا خيوطا وآخرون نسجوا جالسين وراء الآلات.

تنوعت الصناعة اليدوية الحرة باستخدام عمل العبد. وقديما لم تكن الصناعة اليدوية عموما من المهن المحترمة. وحتى أولئك الصناع العباقرة كفيدي وبولكليت وبراكستيل هم من الأسماء المعروفة حاليا لكل إنسان مستنير مثل أسماء النحاتين العظام الذين عدوا حرفيين فقط، واختلف وضعهم الاجتماعي اختلافا بسيطا عن وضع الفخاري أو الصياغ.

إن المنجزات المتألقة للعلماء الرومانيين لم تجد سبيلا واحدا للتطبيق، لأن العمل العبودي لم يحتج إلى التخفيف. وثمة مخترعات بديعة في مجال الميكانيك والفن الهندسي غير المرتبطة بالعلم والمحجوزة في البيوت لم تحصل على اعتراف اجتماعي. وقد اقتصرت التقنية المغلق عليها عند مجموعة ضيقة من الهواة على تصميم الألعاب، والملاحظ عند كتسيبي وفيلون وكذلك هيرون أنهم اخترعوا أساسا ألاعيب تقنية.

ومن ناحية أخرى لم تساعد مصانع العبيد الضخمة أيضا على إدخال تطور ما على المعدات، وذلك لأن العبد «الأداة المتكلمة» كما سماه أرسطو لم يكن مهتما أبدا بتطور تلك المعدات. وحتى هوميروس كتب أيضا:

العبد المهمل، لا ترغمه، أيها السيد بأمر صارم،
على عمل، فهو لا تأخذه رغبة في العمل وحده.

وقد اختار زوس للإنسان مصيرا مضنيا في العبودية الكئيبة،

فقضى بذلك على نصف أحسن مزاياه.

لكن العبد يتطلب عنايات أيضا: فيحتاج إلى طعام وملبس ومسكن. وقد بحث باستمرار عن طرق الحصول على أكبر قدر من العمل من العبد، دون أن يزيدوا الإنفاق عليه. ويجب القول إن «الاقتصاديين» القدماء قد أفلحوا في ذلك كثيرا. وقد وصلنا من الحضارة اليونانية والرومانية كتاب عن الإدارة الزراعية ألفه كاتون سينزور، الشخصية المشهورة في ذلك الحين. في هذا الكتاب-تحتل حيزا كبيرا مناقشات عن الاستخدام العقلاني للعبيد. ومن وجهة نظر المؤلف لا يجوز للعبيد أن يرتاحوا أبدا. ففي الطقس الممطر عندما لا يمكن العمل في الحقل اقترح كاتون إجبار العبيد على تنقية البذور، وغسل البراميل، ونقل الإبل إلى الحقل. وحتى في أيام الأعياد الزراعية، عندما يمنع العمل في الحقل، نصح كاتون باستخدام العبيد من أجل بناء الطرقات.

من المفهوم أن إنتاجية العمل العبودي كانت منخفضة جدا. فقد أتلف العبيد الأدوات، وتعاملوا على نحو سيئ مع ممتلكات مالك الحيوانات البغيض. إن الكثيرين أدركوا، حتى في ذلك الحين، أن السبب الأول للمستوى المنخفض للإنتاج يكمن هنا بالذات. لقد أشار الكاتب كولوميل إلى أزمة الزراعة الرومانية في القرن الأول الميلادي فقال: «أسمع، في أغلب الأحيان، شخصيات حكومتنا البارزين يشكون من جدب الحقول تارة، ومن حالة الطقس تارة، هذين السببين اللذين أثرا تأثيرا ضارا في نمو الثمار منذ الأزمنة البعيدة. وفي الإجابة عن تلك الشكاوى كاد بعضا يصل إلى سبب منطقي يؤكد أن التربة، وقد تعبت وخارت قواها بسبب جدب المرحلة السابقة، ليست بقادرة على منح الفانين رزقهم بسخاء أبيض. وعلى كل حال، فأنا أعتقد، يا بوبلي سيلفي، أن هذه الأسباب بعيدة عن الحقيقة جدا. فلا يمكن لطبيعة التربة، التي وهبها الخالق، أول منشئ للكون، قوة إنتاجية خالدة، أن تصاب بالمحل، أو ببعض الأمراض.. إنني أعتقد أن الظواهر المذكورة سبّبها، لا سوء المناخ، بل على الأصح صفاتنا الشخصية السيئة، وفي الواقع تركنا زراعة الأرض للعبيد، فكأننا أصدرنا بحقها عقوبة وسلمناها للجلاد، على حين قام خيرة أجدادنا بالعناية بها عناية كبيرة...».

ولكن القدماء، بعد أن فهموا عيوب العبودية، لم يستطيعوا الاستغناء

عن العبيد-فلم يوجد لديهم «قاعدة للطاقة» أخرى.

إن التقنية اليونانية والرومانية القديمة بشكلها الموسوعي هي عبارة عن مؤلف علم الحضارة للمهندس الروماني مارك فتروفي باليون (المعروف باسم Vitruvius) المعاصر ليوليوس قيصر (القرن الأول قبل الميلاد). لقد وصف الكتاب في مجلداته العشرة، عمليا، جميع الآلات الميكانيكية المستعملة في ذلك الوقت. (اسم الكتاب نفسه، مرة أخرى، يتكلم عن أن البناء كان أساسيا في «الصناعة» اليونانية والرومانية القديمة). وعلى كل حال فإن الحديث يجري أساسا عن التجهيزات التي يتم تحريمها بوساطة الناس أو الحيوانات. صحيح أننا في المكان نفسه نجد أيضا ذكرا لاستعماله منابع أخرى للطاقة، كالمياه الجارية، وأننا لا نجد في الكتاب أي وصف لآلات ميكانيكية ما لإنتاج الطاقة. ويتضح من الكتاب أنه على الرغم من وجود أدوات بدائية لإنتاج المصنوعات أو لأعمال البناء، لم توجد عمليا آنئذ تقنية توليد الطاقة.

تلاشت العبودية بنفسها تدريجيا باعتبارها مصدرا للطاقة. واهتزت باستمرار حكومات نظام الرق بانتفاضات العبيد. وهاجم البرابرة تلك الدول المنهكة ونكلوا بالمهزومين بقسوة. ولم يعد هنالك مصدر لجلب العبيد، وغدا من الصعوبة بمكان حبسهم وضمان طاعتهم. لقد اقترب عصر الطاقة الحية الذي استمر آلاف السنين من نهايته. وجب على الإنسانية أن تبحث عن منابع جديدة للطاقة.

ومن الطبيعي أن يوجه الناس بحثهم، بادئ ذي بدء، إلى تلك المنابع التي كانت أمام أعينهم باستمرار: إلى المياه الجارية وإلى الرياح فقد وجدت الأشرعة والدواليب منذ زمن.

الهوامش

(١) الطف: من الإيطالية (Tufo) - هي صخور جبلية بركانية تتشكل نتيجة تصلد الرماد البركاني والخبث وغيرها من مقذوفات البراكين أثناء ثورانها. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 26. دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1977، ص 393) - المترجم.

(2) - سيرنجيتي: هضبة تقع في شمال تنزانيا. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 25. دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1976، ص 256) - المترجم.

(3) Homo Sapiens: وردت بالاتينية في النص الاصلي، وتعني الانسان العاقل - المترجم.

(4) Homo Forsabilis: وردت بالاتينية في النص الاصلي، وتعني الانسان القادر - المترجم.

(5) هنري ديفيد ثورو :H.D. Thoreau ولد في كونكورد في ولاية ماساتشوسيتس، عام 1817 م، وهو كاتب أمريكي، ومنظم اجتماعي وفيلسوف ابن تاجر تخرج في جامعة كارفروسكي عام 1837 م. انتقد في كتبه بحدة المشكلات الاجتماعية. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 26. دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1977، ص 112) - المترجم.

(6) الكاليتشي: الحصوي، ترجمة حرفية للكلمة - المترجم.

(7) قواطع حصوية: أدوات عمل لإنسان البدائي في العصر الحجري القديم. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 22 - دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1975، ص 342) - المترجم.

(8) إسخيلوس (525-456) ق. م. كاتب مسرحي إغريقي ذو منشأ أرستقراطي قديم. شارك في حروب اليونان. حاز على انتصاره الأول عام 484 ق. م. في مسابقات الكتاب المسرحيين، ثم حاز على اثنتي عشرة جائزة. ألّف 80 مسرحية وصل منها سبع. إحدى مسرحياته هي: بروميثيوس مقيدا. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 30. دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1978، ص 287) - المترجم.

(9) الصوفان: نبات عشبي من الفصيلة المركبة يظهر عليه زغب يشبه الصوف (المعجم الوسيط) - المترجم.

(10) إنسان كرومانونسكي: له شكل الإنسان العاقل (Homo Sapiens) القديم. عاش في أوروبا وخارجها. يتصف بجبهة مستقيمة وحاجبين مقوسين وتشكل جيد لنتوء الذقن، رقبة عالية للجمجمة. (الموسوعة السوفييتية الكبرى - في ثلاثين مجلدا، المجلد 29 - دار سوفييتسكا إنسيكلوبيديا، موسكو 1978، ص 52) - المترجم.

2 الأشرعة والدواليب

تحت الأشرعة عبر قرون وآلاف السنين

استمرت حياة القدماء متمهلة وبجهد أبناء القرن العشرين، تطورت التقنية ببطء. وقد بنيت قناطر المياه الرومانية عمليا بالطريقة نفسها التي بنيت بها الأهرام المصرية، المنتشرة منذ القدم، منذ زمن الحضارة اليونانية والرومانية القديمة. واستعمل البناؤون الأدوات نفسها التي يمكن أن تكون قد تطورت قليلا خلال ألفين من السنين. وكانت منابع الطاقة هي نفسها«الطاقة الحية» التي بقيت آلاف السنين.

نسب اختراع الأشرعة إلى الإغريق، إلى ذلك الزمن القديم، عندما أخضعت النار ودجنت الحيوانات البرية. وقد نوه إسخيلوس أيضا بالشراع، من ضمن سلسلة طويلة من الأعمال المجيدة التي أسعد بروميثيوس بها الجنس البشري: «زود بروميثيوس السفن بأجنحة كتانية ودفعها بجرأة عبر البحار».

وقد عرف بلا ريب، وأثبتت الوثائق القديمة، أن الفينيقيين البواسل الذين عاشوا على الشاطئ الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، قد استعملوا الأشرعة في كل مكان، منذ أربعة آلاف سنة.

وبالطبع كان الشراع عبارة عن وسيلة بدائية جدا وغير متطورة، إنه ببساطة قطعة مثلثية الشكل من القماش المتين ساعد على الإبحار باتجاه الريح، وبفضله استطاع الفينيقيون أن يبحروا بفضله إلى مصب النيل، حيث نظموا تجارة رائجة مع المصريين، ومنذ ألفين وخمسمائة سنة أنجزوا أول إبحار ذكره التاريخ حول أفريقيا.

كان الشراع مألوفا تماماً لأبطال هوميروس. وقد استعمله كثير منهم (ولكن بالطبع ليس من دون مساعدة الآلهة)، حين استدعت الضرورة ذلك.

في ذلك الوقت جلبت كيبسو، ربة الأرباب، الأشرعة المتينة. وثبت الشراع القائم (بالحبال لكي يتسع أو يتقلص).

ثم حرك بالأذرع القوية طوفه...

جهّزت السفن التجارية فقط، بادئ ذي بدء بالأشرعة. ولم يكن مفيدا لأصحاب السفن نقل كثير من الأحمال غير المفيدة (المجدّفين أنفسهم، واحتياطات الماء والطعام اللازمة لهم أيضا!). وقد طلب من طاقم السفينة التجارية الإمساك بالمجاذيف، أثناء دخول المرفأ أو الخروج منه فقط. إذ لم تستطع الأشرعة غير المتقنة تأمين المناورة الكافية. ولهذا السبب ظهرت الأشرعة في السفن الحربية متأخرة كثيرا عنها في التجارية؟ لأن المناورة ضرورية أكثر في المعارك، قد استعمل البحارة العسكريون الشراع كثيرا عند الإبحار البعيد، فإذا جرت المعركة طووا الأشرعة وتركوها على الشاطئ.

... اجتذبت الناس منذ القدم الأرض المجهولة التي تكمن فيها ثروات لا تنضب، وقد فتح طريقها المساعد المجرّب-الشراع. وبالطبع لم تكن السفن الشراعية في تلك الأزمنة، عندما بدئ باستصلاح الأراضي والقارات الجديدة بوتائر منقطعة النظير، تشبه تماما سفن أبطال هوميروس. بل أصبحت تخرج إلى عرض البحر سفن جميلة عديدة الصواري غنية بالأشرعة، استطاعوا أن يناوروا فيها بسهولة مستعملين لأجل الحركة أقل ريح: وانكشف المحيط أمام مالكي طاقة الريح، ولم تضطرهم المنجزات العظيمة أن ينتظروها.

في عام 1492 تمكن كريستوف كولومبس، ابن الحائك الجنوي، والملتحق بخدمة الملك الإسباني، من الوصول إلى سواحل كوبا. وفي عام 1497 تكمن جنوي آخر هو جون كابوت من اكتشاف شمال أمريكا، وبعد ذلك بقليل

تمكن فاسكودي غاما من الوصول إلى سواحل أمريكا الجنوبية. وبدأ استثمار أراض وأسواق جديدة. وساعدت طاقة الريح على تطور الحضارات.

وحتى في عهد السفن التجارية لم ينس الناس صديقهم الوفي وأصبحت السفن الشراعية السريعة أسطورة - وهي الناقلة للشاي من الهند إلى أوروبا. وأشهر هذه السفن «كاتي سارك»المسماة في شعر روبرت بيرنس بالساحرة الحسناء، وهي السفينة التي أعيد إنشاؤها وأرسيت إلى الأبد في الميناء الإنجليزي فالموت. وكان قد سجّل، على إحدى سفن الشاي الشراعية أعلى سرعة تم الحصول عليها بوساطة الأشرعة، سجلته سفينة الكليبر«الريح المواتية» التي اكتسبت سرعة 39 كيلو مترا في الساعة-وهو مؤشر حديث تماما!

ظلت السفن الشراعية تبنى حتى القرن العشرين. ففي عام ١٩١١ م نزلت إلى الماء أكبر سفينة شراعية بتاريخ الملاحة. وهي السفينة الضخمة التي تحمل أكثر من عشرة آلاف طن، والتي سميت «فرنسا-2».

ومن المدهش، أنه حتى في أيامنا هذه مازالت السفن الشراعية تبنى، ليس فقط لغرض الرياضة أو التدريب، وإنما للنقل أيضا! ففي بداية الثمانينيات نزلت إلى الماء، من فوق قاعدة إحدى دور بناء السفن في اليابان، ناقلة بترول مجهزة بالأشرعة. وبالطبع لم تكن أشرعتها كتانية تقليدية، وإنما فولاذية ذات تصميم خاص. ولا يرفعها البحارة الشجعان بناء على أمر من رئيس البحارة، وإنما ترفعها محركات كهربائية موجهة من آلة إلكترونية آخذة بالحسبان قوة الريح واتجاهها، متبعة خطتها، محققة اتصالا مع المنائر والأقمار الاصطناعية.

يقتصد في هذه السفينة لا الوقود فقط وإنما العمل الإنساني أيضا، إذ يخدم تلك السفينة عند حمولة نحو 20 ألف طن بضعة ميكانيكيين فقط. وتصمّم السفينة الشراعية أيضا في الولايات المتحدة وفرنسا. إن الصديق الوفي للإنسان على مدى آلاف السنين-الشراع-لا ينوي تقديم استقالته.

طاقة دولاب الطاحونة

لم يستعمل أسلافنا القدماء قوة الريح فقط، إذ عرفت الدواليب المائية منذ زمن بعيد جدا. فقد كان رفع المياه إلى الحقول لريها في أقدم الدول

الزراعية واحدة من أكثر القضايا إلحاحا. فبدلا من الطارة المصرية البدائية القليلة الإنتاجية - الشادوف - جاءت الدواليب المائية البسيطة المسماة بالعوائم. ومنذ ثلاثة آلاف من السنين قبل الميلاد أيضا دارت ببطء على النيل والفرات واليانسيري عشرات الدواليب المائية التي بمساعدتها رفع العبيد الماء إلى الحقول.

وقد وصف مثل هذا الدولاب في عمل فيتروفي، ذي المجلدات العديدة، والمذكور آنفا: حول محور يثبت الدولاب موافقا بقياسه الارتفاع الذي يجب أن يصل إليه الماء، «وحول الدولاب ضمن دائرته الخارجية تثبت صناديق مكعبة، لا يزرب منها الماء بفعل سدها بالشمع والقطران. عندما ينتقل الدولاب إلى الحركة بطريقة الضغط عليه ترتفع الصناديق الملأى إلى الأعلى وفي طريقها العكسي تسكب محتوياتها في حوض ماء..»

كان الإغريق أول من فطن إلى أنه إذا كان جريان النهر ذا قوة كافية فيمكنه تدوير الدولاب، ويمكن عندئذ استبدال قوة الماء الجاري نفسها بجهد العبد أو الحيوان. لأجل ذلك من الضروري تثبيت شفرات إلى الدولاب يدوّرها الماء، فتدوّر بدورها الدولاب.

في موسوعة القدماء التقنية تلك - لفيتروفي - كل شيء موصوف حتى هذا الدولاب: «تنصب على الأنهار أيضا دواليب رافعة للماء تشبه تلك الموصوفة سابقا، مع فرق واحد فقط، إذ ثبّتت على جهتها الخارجية شفرات إضافية يجرها جريان الماء وبحركتها تجبر الدولاب على الدوران، فتملأ عندئذ الصناديق بالماء وترفعها إلى الأعلى، من دون أعمال الدفع، وبالاعتماد على جريان الماء تدور الدواليب وحدها، منفذة العمل الضروري».

عدا ذلك، فطن الإغريق، إلى أنه يمكن للدولاب المائي الدائر ليس فقط رفع الماء وإنما إنجاز عمل مفيد آخر، إذا ما وصلنا محوره بآلية ما. من هذا التقدير بقيت فقط خطوة واحدة لاختراع دولاب الرحى. وأنجزت هذه الخطوة. فقد وجدت ملاحظة عند المؤرخ الإغريقي سترابون مفادها أنه رأى بالقرب من قصر القيصر ميتريداتوس في كابير طاحونة ماء. وهي عبارة عن جهاز بسيط للغاية بدا للرائي أعجوبة حقيقية. فقد فتحت أبواب المعابد للمقربين من تلقاء نفسها، و «من دون سبب» ظهرت النار على الموقد القرباني. وهناك بدا أن الآلهة نفسها قامت بكل هذه الأعمال ولكن

هنا، على طاحونة الماء عمل دنيوي بسيط ومألوف - طحن الحبوب - وكأنه قد حقق نفسه بنفسه من دون العمل الثقيل الشاق للإماء اللائي يفركن الحبوب بين الأحجار. أنتبارت ديالونيكسكي من مقدونيا هو أحد الشعراء الكثر الذين ألقوا الضوء على الطاحونة المائية في قصيدته التي وصلت إلى عصرنا:

فلتسترح أيديكن أيتها الطحانات، ولتغفون بهدوء
وإن صاح الديك بصخب معلنا اقتراب الفجر:
كلفت ديميتريا الحوريات بعباب عملكن
وكم فرحن سرورا بإطار العجلة الدوار
أترين؟ بدأ المحور يدور، والمحاور المفتولة بالأسافين
بهدير خافت تحرك ثقل زوجين من الرحى
ومن جديد قدم إلينا عصر ذهبي: من دون كدح أو جهد
وبدأنا مجددا نذوق طعم هبة ديميتريا المقدسة.

ويجدر القول إن استخدام الطواحين المائية في هيلاس كان ضيفا لحد ما-فالاحتياجات التقنية لذلك الزمن أمنتها تماما طاقة القوة العضلية للعبيد وللحيوانات الداجنة.

أنشأ الرومانيون القدامى، وارثو منجزات الإغريق، أول حضارة تبوأت فيها التقنية مكانة مرموقة فعلا.

وقد انتشرت في القرن الثاني الطواحين المائية في كل مكان تقريباً، وأنجزت الأعمال أكثر فأكثر بفضلها، واستخدمت الطواحين المائية عند الرومان لعصر الزيتون، ولدمث التفاح، الذي منه حضر المشروب المفضل عند الرومانيين - نبيذ التفاح. وبفضلها امتلأت بالماء مجاري المياه الرومانية الذائعة الصيت. وأثناء حصار الأوستكوتيين لروما دمرت مجاري المياه وبقيت المدينة الخالدة من دون ماء، وعندئذ بنى الإمبراطور فيليزاريو على نهر التيبر دواليب مائية عائمة ضخمة لرفع الماء للمدينة.

انقلب الازدهار الساطع القصير للإمبراطورية الرومانية في تلك المرحلة من تاريخ البشرية التي يسمونها أحيانا بـ«ظلام القرون الوسطى» من دون حق. فقد توقف تدفق العبيد وأصبح العمل العضلي يقوّم عاليا. وفي ظروف نمو الحاجة لأكثر الأدوات إنتاجية اضطروا للبحث وإيجاد طرق جديدة

لإدارة الاقتصاد. أما المبدأ التقني، مبدأ توليد الطاقة الأساسي الذي يعتمد القوة العضلية فقد فقد دوره السابق.

النظام - الإقطاعي - الجديد أحيا أيضا تقنية جديدة. الطواحين المائية والدواليب التي انتشرت بسرعة إلى حد مما في أوروبا.

يرجع أول ذكر للطواحين المائية في أوروبا الوسطى لعام 340 م - وقتئذ شُغلت إحداها على نهر الموزيل. وظهرت في القرن السادس الميلادي الطاحونة المائية في فرنسا - التي عملت في مدينة ديجون - وظهرت في إنجلترا الطاحونة المائية في القرن الثامن الميلادي تقريبا. ولكن في عام 1086 سجلت 5624 طاحونة كانت تعمل على نهري ترينت وسفرن!

بعد ظهور الطاحونة المائية بقليل ظهرت طاحونة الهواء. يصادف أول ذكر لطاحونة الهواء عام 644 م في تقرير الاتهام بحق أبي لؤلؤة، قاتل الخليفة عمر ابن الخطاب، عندما وصف بأنه« باني الطواحين الهوائية». وبعد أكثر من مئتي سنة بقليل ظهرت الطواحين الهوائية في مدينة سيسيتك على الحدود بين إيران وأفغانستان.

ويرجع أول ذكر للطواحين الهوائية في أوروبا إلى عام 1105 م. فقد حفظت في الأرشيف موافقة أعطيت لأحد الأديرة لبناء الطواحين. المدونات التاريخية الفرنسية لعام 1180 م، والإنجليزية لعام 1190 م تكلمت بوضوح عن الطواحين الهوائية العاملة. ولكن ليس تماما عن تلك الطواحين التي صارعها فيما بعد الداهية إيدالكو[1] دون كيشوت ديلامانشا! تلك كانت منشآت خرقاء، بشفرات تدور في المستوى الأفقي، ومثبتة على هيكل خشبي، ولكي تكون الشفرات دوما بوجه الريح، التي يتغير اتجاهها باستمرار، دور كل هذا الهيكل يدويا بوساطة ذراع بدائية. وفي مخطوطات عام 1270 م المسماة «بسالطر[2] الطاحونة المائية» ثمة وصف لإحدى أوليات الطواحين الهوائية.

فيما بعد تطورت الطاحونة الهوائية بسواعد أجيال كثيرة متخذة شكلا أكثر ألفة بالنسبة لنا. وتبين أنها أسهل من المائية على نحو ملموس وأرخص بكثير. سيئتها الأساسية تنحصر، بالطبع، في تقلب حامل الطاقة - الرياح. ولذلك ففي تلك المناطق فقط، حيث لا توجد تيارات سريعة كافية - في سهول ألمانيا وإيطاليا وروسيا وأسبانيا، وبالطبع في هولندا بلد الطواحين

الهوائية التقليدي-دورت العمالقة الخشبية شفراتها ببطء.

وتطورات أيضا في ذلك الوقت الدواليب المائية، واخترعت أجهزة معقدة إلى حد ما، وآليات لنقل الحركة سمحت باستخدام قوة الماء، ليس فقط لطحن الحبوب وإنما لإنجاز مختلف الأعمال. دورت الدواليب المائية الآلات، ونقلت الحركة إلى كير الحداد، وساعدت عمال الفلزات على رفع الخامات من المناجم. وبكلمة، في كل مكان لم تستطع فيه يد الإنسان التغلب على الأعمال الصعبة، جاءت لمساعدته قوة الماء.

وهذه نبذة مهمة من مخطوطات القرن الثالث عشر حيث وصف استعمال طاقة نهر أوروبي صغير: « في البداية يصطدم النهر بالطاحونة.. ثم يستدعيه صناع الجوخ الموجودون بجوار الطاحونة إليهم.. بإنزال أو رفع المدقات الثقيلة أو - بتعبير أفضل - المطارق أو الأجران الخشبية.. حرر النهر عمال الجوخ من العمل المضني.. يحرك الجريان السريع للنهر عددا كبيرا من الدواليب المائية. بعد ذلك يمضي النهر المزبد ببطء متابعا طريقه.. هنا سيستقبل مجموعة من الناس، وهو بدوره يشارك مشاركة نشيطة بصناعة ذلك الضروري لأحذيتهم.. ثم يتشتت النهر شيئا فشيئا تحت تأثير الفروع العديدة. وبعجلة يدور ويطل على الورشات المستقلة، ويبحث بدقة أين توجد ضرورة لخدماته: عند الصهر والغربلة، والدوران والدق والري والغسل».

استعمل من أجل تحريك الدواليب المائية، الموضوعة بالشكل الضروري لمختلف الحرف، استخدمت كذلك قوة المد! فطواحين المد، التي تعتبر الأصل وتطورت فيما بعد إلى محطات كهرباء المد الحديثة، ظهرت في أول الأمر، على شاطئ البحر الأدرياتيكي منذ عام 1044 م، ومتأخرة قليلا - في إنجلترا وفرنسا. (وإلى زمن أكثر تأخرا تنتمي شهادة الشكوى المحفوظة لإيفان غروزني والتي نوه فيها بطواحين المد التي بناها نيكيتيا بافلوف على ساحل البحر الأبيض في أوست زولوتيتس، وفي أماكن أخرى أيضا.)

وقد أصبحت منابع توليد الطاقة الأساسية في القرون الوسطى بالذات قوة الماء والريح. واستخدمت قوة الحيوانات بصورة أكثر إنتاجية. ومعروف التصميم المدهش للسفينة الحربية التي سميت« ليبورنا »، المجهزة بالأشرعة، ولكنها جهزت بمحرك إضافي في حال انعدام الرياح-ثلاثة دواليب تجذيفية

دور كلا منها ثوران. وأصبحت مألوفة الآلات التي بفضلها شحذوا المعادن والشجر، ونسجوا القماش الكتاني، ونشروا الألواح الخشبية، وسحبوا الأسلاك. وقد طرح كل ذلك مسائل أمام العلم، ونحن نرى في ظلام القرون الوسطى بالذات أول بواكير العلم الحديث.

كتب روجيه بيكون الراهب الفرنسي الميال إلى الهرطقة، والذي أمضى أكثر من عشرين سنة في السجون، كتب في القرن الثالث عشر: «سأحدثكم عن أمور عجيبة للطبيعة، لا يوجد فيها شيء سحري. إننا ندرك أن كل جبروت السحر أقل من تلك الأمور ولا يستحقها. يمكن أن نصنع أجهزة عائمة من دون مجاذيف، سفنا نهرية وبحرية، عائمة بقيادة شخص واحد، أسرع من أن تكون ملأى بالناس. وأيضا يمكن أن تصنع مركبة لا تجرها خيول متحركة بسرعة كبيرة.. ويمكن صناعة أجهزة طيارة، الإنسان الجالس في وسط الجهاز وبمساعدة بعض الآليات يحرك الأجنحة على غرار الطيور.. ويمكن بناء آلة صغيرة ترفع وتنزل أحمالا ثقيلة جدا، آلة جزيلة الفوائد.. ويمكن أيضا وأيضا بناء العديد من الأشياء الأخرى، مثلا، إنشاء جسور فوق الأنهر من دون دعائم أو ركائز ما. وقد تصور بيير بيرغرين، معاصر بيكون، كيف يتعامل الإنسان المضطلع بسبك المعادن مع الذهب والفضة وغيرهما من المعادن ومع كل الأجسام المعدنية».

وكتب بيير بيرغرين: «من أجل دراسة شيء مجهول، بالنسبة لنا، ضروري للغاية الإنتاج اليدوي، الذي من دونه لا يمكننا إنجاز شيء ما بالشكل المطلوب. ومع ذلك توجد مجموعة من الأشياء التي تخضع للمنطق لا يمكن بحثها حتى النهاية باستعمال الأيدي فقط».

تطورت الحرف تطورا عاصفا. فالصليبيون، أثناء بحثهم عن «التابوت الرباني» الأسطوري وجدوا في الواقع ما هو قيم جدا. فقد جلبوا معهم من الشرق المتطور منجزات تقنية كثيرة - طلاءات وتقنية تحضيرها، وورقا، وباروداً، وغيرها كثير. في تلك السنين أنشئت المدن وظهرت التجارة بين مناطق نائية جدا. وفي ذلك الوقت بالذات شق الطريق العظيم «من الورنكيين[3] إلى اليونانيين»، وفي ذلك الوقت بالذات تم التفكير في الرحلات العظيمة، التي فتحت بعد ذلك الأرض للإنسان.

وقدرت الحرف تقديرا عاليا جدا، فانفصل الحرفيون المهرة عن

الجماعات القروية وانتقلوا إلى المدن، فعمروا الشوارع والنواحي، وأنشؤوا الورشات التي جمعت حرفي المهنة الواحدة. وكان على كل حرفي يريد أن ينضم إلى الورشة أن يخضع لامتحان صعب جدا، كان عليه أن يتقن حرفته إتقانا تاما، ويصنع بضاعة بمستوى عال من الجودة.

استعملت مختلف الآليات، في الورشات، استعمالا واسعا-مخارط وأنوال قوية ومثاقب. كما استعملت القوة العضلية للإنسان حيث أمكن-وكثير من الآلات كان لها نظام إدارة باليد أو بالرجل، ولكن كان واضحا أن قاعدة توليد الطاقة للإنتاج قد تغيرت. فقد بدئ باستعمال الدواليب المائية بكثرة ليس فقط في الطواحين وإنما أيضا لتحريك الآليات والآلات المختلفة الأخرى.

في نهاية القرن الثاني عشر انتشرت في نورنبورغ على نحو واسع مضارب للصوف لها أصابع معدنية، معدة لضرب الصوف، يحركها الدولاب المائي. وينتمي إلى عام 1351 أول اختراع لوحدة دلفنة مائية لتحضير الأسلاك المعدنية. ووصف في مخطوطات فيلار دي أونيكور عام 1245 م أول منشار للخشب يدار بالدولاب المائي.

أصبحت الدواليب أكبر فأكبر

لم تبق الطواحين الهوائية فترة طويلة ببساطة أداة لطحن الحبوب. ففي عام 1582 م ظهرت أولا معصرة للزيت، وفي عام 1586 آلة لصنع الورق، وفي عام 1592 طاحونة نشر الأخشاب التي تدار بالرياح. ولكن في هولندا وحدها ذات الأنهار البطيئة الجريان، أصبحت الطواحين الهوائية قاعدة توليد الطاقة الأساسية. ويمكن القول إن هولندا مدينة بوجودها للطواحين الهوائية، لأن القسم الأكبر من مساحة هولندا أو نذرلاند(«الأراضي المنخفضة» بالترجمة الحرفية) تقع تحت مستوى البحر. وقد مكنت المحركات الهوائية بالذات من القيام بأعمال ضخمة كتجفيف المستنقعات وسحب المياه. وقد وضعت قوة الريح في مواجهة قوة كارثة طبيعية أخرى-هي قوة البحر المهددة باستمرار بإغراق أراضي البلد الصغير.

وقد توصل الهولندي يان أندريانزون إلى أفضل التصاميم للطاحونة الهوائية منذ القرن السابع عشر، فاستعمل قوة الريح لتجفيف الأراضي

المغمورة بالمياه. وقد جفف يان بهذه الطاحونة الهوائية (التي أطلق عليها العالم فيما بعد اسم «الهولنديه») سبعا وعشرين بحيرة، فاستحق عند مواطنيه لقب الشرف ليكفاتر - «مكتسح المياه».

إن المكتشفات الجغرافية العظيمة، وتطور التجارة تطورا ناجحا، أدت إلى ضرورة زيادة إنتاج البضائع، وهو أمر يستحيل من دون تطور التقنية. وقد أدى ذلك إلى تطور وتوزيع العمل وظهور مانيفاكتورات وآلات ومحركات جديدة. وإن تراكم المعارف العملية الجديدة في القرنين السادس عشر والسابع عشر قد جعل الفكر الإنساني ينهض نهوضا لم يسبق له مثيل. في هذا الزمن وضعت أسس العلم الحديث.

قد تكون روح النهضة لم تتجسد بهذا السطوع مثلما تجسدت بشخص الرسام العظيم والمهندس العبقري ليوناردو دافينشي.

أكد ليوناردو، دارسا بنظرة ثاقبة ومستقصيا بانتباه العالم المحيط أن «الحكمة بنت التجربة، التجربة لا تخطئ أبدأ، إنما أفكاركم فقط هي التي تخطئ حينما تنتظر منها أشياء ليست في مستطاعها».

اهتم ليوناردو بحماسة بإنتاج مختلف المصنوعات. وفي كتبه المخطوطة ظهرت رسوم مجملة، ورسوم تخطيطية للاختراعات التي عليها مساعدة الصناعات الوليدة: نقل الحركة بجنزير القوى، وآلة لتشريط المبارد، والعديد من الأنوال. ولم يهمل آلات توليد الطاقة أيضا. ونجد في مخطوطاته رسوما تخطيطية لمحركات حرارية، وهو يقترح طرازا جديدا لدولاب طاحوني-ذي محور عمودي ثبت على محيطه شفرات على شكل ملاعق، وينتمي لريشته التصميم الذي سمي بالطاحونة الهوائية الهولندية.

أوجد النهوض هيئات غير معروفة سابقا (الأكاديميات العلمية) إن بداية هذه الحركة قد وضعت في إيطاليا. فقد نظمت في نابولي عام 1560 م أكاديمية أسرار الطبيعة. وأقيمت في روما أكاديمية اللينشي - أكاديمية عيون الوشق، التي كان عضوا فيها غاليليو العظيم. وفي فلورانسا أنشأت عائلة المديتشي أكاديميتها الخاصة تشيمينتو - أكاديمية التجربة. وتشكلت عام 1662 الهيئة الملكية اللندنية، وكانت قد أنشئت منذ زمن بعيد وسميت «بالكلية الخفيه». وحتى في بداية القرن، نشأت في لندن حلقة للعلماء اجتمعت بانتظام لمناقشة المسائل العلمية. «نحن - تحدث أحد أعضاء هذه

الحلقة - وضعنا جانبا المسائل اللاهوتية والسياسية وانشغلنا بمعالجة ومناقشة أبحاث العلوم الطبيعية، التي تتاخم العلوم الأخرى ومن ضمنها علم الفيزياء وعلم التشريح وعلم الهندسة وعلم الفلك والملاحة وعلم توازن القوى وعلم المغناطيس وعلم الكيمياء وعلم الميكانيك، والتجربة التاريخية الطبيعية، ناظرين إلى وضع هذه العلوم في بلدنا وفي البلدان الأخرى». ومنذ عام 1666 م اكتسبت الأكاديمية الباريسية وضعا رسميا. وبأمر من بطرس الأول في روسيا تأسست عام 1724 م أكاديمية العلوم في بطرسبرغ.

تحققت نجاحات عظيمة في معرفة العالم وفي إنشاء أسس كل المعارف الحديثة باتحاد جهود العلماء. وفي تلك السنين بالذات وضعت أسس علوم الرياضيات والفيزياء والكيمياء الحديثة. وكل تلك المنجزات الأساسية للتقنية في ذلك العصر مدينة بوجودها بدرجة كبيرة ليس للعلماء والعلم وإنما للجهد الهائل للمخترعين المهرة - الذين علموا أنفسهم بأنفسهم.

وعلى نحو خاص كانت المنجزات عظيمة في تقنية التعدين، وفي استخراج مختلف أنواع الخامات والثروات الطبيعية. ولكنها كانت في الوقت نفسه أكبر الصناعات استهلاكا للطاقة أيضا إذا استعملت المصطلحات الحديثة. كان من الضروري رفع الخام المستخرج أو الفحم من المنجم، وضخ المياه الجوفية المتسربة إليه باستمرار، وتأمين الهواء له، وقد احتاج الاستمرار في الاستخراج أيضا إلى أكثر الأعمال تنوعا وأشدها مساسا للجهد. وقبل كل شيء كانت هناك حاجة إلى منبع للطاقة. ومن أجل ذلك كان الدولاب المائي لا يعوض.

فانوتشو بيرينغوتشو الذي أشرف على معمل فلذي في سيينا المدينة الإيطالية، وصف في كتابه« فن الصواريخ الناري»، الصادر في القرن السادس عشر، دولابا مائيا كبيرا نسبيا فقال : «استعمل بعضهم دولابا بمغارف قطرها6 أو7أو8 مرافق[4]، حسب مكان وجوده وكمية المياه».

لم تكبر أقطار الدواليب وحدها، بل الدواليب نفسها تغيرت بصورة مبدئية. إنها لم تعد دواليب عائمة تستعمل ببساطة جريان النهر. لقد بنيت السدود الخاصة، التي تزيد في ضغط الماء، بمساعدة قنوات توجه المياه إلى الدولاب بشكل تستخدم فيه طاقتها على نحو أكمل. وعلى سبيل المثال، توزعت الشفرات في الدولاب الطاحوني الذي تم تركيبه في تولوز، والمعروف

على نطاق واسع في النصف الثاني من القرن السادس عشر، على شكل حلزوني. لكي يؤثر سيل الماء «بالوزن وبالصدمة» (أي يمكن من استغلال طاقة الوضع وطاقة الحركة للماء الساقط عليه).

وفي تلك السنين بالذات ابتدأ نشر مؤلفات عن التقنية وصفت فيها الدواليب المائية، ومنافيخ الهواء ومختلف الطواحين. وظهر عام 1556 م كتاب أغريكولا[5] «عن التعدين وعلم الفلزات». وقد اختص هذا المؤلف بوصف مختلف الدواليب ذات الاختصاصات المتنوعة، والتي تتحرك بالماء أو بالأحصنة. بلغ قطر أكبر دولاب عرفه أغريكولا ما يزيد على 10 أمتار. زد على ذلك أن هذا الدولاب استطاع الدوران في جهات مختلفة، اعتمادا على اتجاه الفراشات «صف الشفرات» التي يتم توجيه الماء إليها).

وجد في مدينة أوغسبورغ عام 1550 م نظام معقد جدا لإمدادها بالماء، دواليب مائية وجهت الماء بمساعدة عنفات مائية إلى مبنى مضخة للمدينة، ومن هنالك وصل الماء إلى البيوت بوساطة نظام توزيع بالأنابيب. تحقق إمداد لندن بالماء بطاحونة المد، التي شيدها في عام 1582 المهندس الألماني بيتر موريس. وعندما قرر لويس الرابع عشر تزيين حدائق فرساي بنوافير فخمة، على نهر السين، اضطر إلى بناء نصب هائل في مارلي، مؤلف من 14 دولابا مائيا، قطر كل منها 8 أمتار، وبعرض إجمالي يبلغ 34 مترا، حركت الدواليب 235 مضخة بوساطة أجزاء ضخمة من عجلات موازنة وأذرع وعجلات مسننة ضخام.

وعلى النهرين الروسيين موسكوفا اوياوزا دارت دواليب العديد من الطواحين المائية التي أدارت لا المطاحن وحدها، وإنما أيضا معامل السختيان والمدافع والمصانع الفلزية.

وحتى في الوثيقة الرسمية للأمير ألبادولسكي ألكساندر كارباتوفيتش عام 1375 م وبعدها، في وصية الأمير ديمتري دونسكي، المكتوبة عام 1389، تذكر الطواحين المائية المنصوبة على نهري ياوزا وخودينكا ومادامت الطواحين المائية لم تنس حتى في الوصايا، فقد أعطيت على ما يبدو حق قدرها، إذ تحدثت وصية الأمير أندرييفتش، التي كتبت عام 1440، عن الطواحين المائية على نهري ياوزا ونيغلينايا. وكما تشهد الوثيقة التاريخية حول نهر نيغلينايا والمدونة عام 1519، عملت ثلاث طواحين ودافعة واحدة.

وهناك في المكان نفسه على نيغلينايا، بني سد حجري أيضا. وتخبر المدونة التاريخية: «حفر الأمير العظيم فاسيلي إيفانوفيتش البرك وبنى الطاحونة الحجرية على النيغلينايا».

وفي عام 1632 م بالقرب من مدينة تولا وتحت إشراف المعلم الهولندي فينيوس، بني في روسيا أول مصنع «لصب حديد الزهر ولصنع الحديد»، حيث تم تشغيل آلاته بدولاب مائي.

عشية ثورة الطاقة

ظهرت كتب تختص بالدولاب المائي. ففي عام 1737 م نشر كتاب العالم والمهندس الفرنسي بيليدور «فن العمارة الهيدروليكي»، عالج فيه ليس فقط أمثلة لاستخدام الدواليب المائية وإنما عناصر نظريتها وطرق تصميمها وحسابها أيضا.

وأجرى العالم الإنجليزي سميثون تجارب على نماذج من الدواليب المائية واقترح الكثير من الحلول الجديدة.

ونصبت، في النصف الأولى من القرن الثامن عشر، دواليب مائية ضخمة في اسكتلندا وفي غرينوك. وعلى المغزل الكبير، عند مصب نهر كلايد، بني دولاب مائي بقطر يزيد على 21 مترا وبعرض يبلغ نحو 4 أمتار. وارتفع على جزيرة مين في إنجلترا دولاب بقطر أكبر أيضا.

وقد شيد كوزما ديميتريفتش فرلوف في ألتاي محركا فريدا لتدوير أجهزة ناقلة ورافعة لمنجمين. دخل في تركيبها عدة دواليب، أكبرها يبلغ قطره 17 مترا. وقد احتاج تشغيل هذه الآلة، إلى ضغط مائي. وحصل عليه من سد خاص تم بناؤه خصيصا يبلغ طوله 28 مترا وارتفاعه أكثر من 15 مترا. ولكن كان أقوى دولاب في تلك الأزمان دولاب مانيفاكتورة كرينيغولمسكي في نارفا: إذ كان قطره حوالي 10 أمتار، وعرضه نحو 8 أمتار.

وبكلمة، انتشرت إلى منتصف القرن الثامن عشر، الدواليب المائية في كل مكان. ولعله، لم يوجد في أوروبا نهر صغير مناسب لوضع دولاب مائي إلا نصب عليه.

كانت الدواليب المائية منشآت ضخمة وعظيمة، بنيت حولها المصانع ونشأت المدن وتمديداتها المائية المنظمة. إن طاقة الماء الجاري منحت الناس

ثقة وقوة أكبر بأنفسهم.

أغنت الآلات عن كثير من الأيدي العاملة، واستطاعت إنتاج البضائع بنفسها، وبكمية زادت على عشرة أضعاف، وبكيفية أجود من أمهر الصناع. لقد كانت ثورة حقيقية في التقنية. ابتدأت بصناعة النسيج، التي هي أقدم الصناعات وأكثرها انتشارا.

منذ القدم بذلت محاولات لتشغيل الآلة بالعمليات الرتيبة للغزل والنسيج. وبشهادة أحد كتاب البندقية اخترعت آلة لصنع الأوشحة عام 1579 في دانزيغ، إلا أن مجلس البندقية أخفى هذا الاختراع، خوفا من انتشار البطالة بين النساجين، وخنق المخترع سرا.

جون وايت النجار القروي الإنجليزي اقترح تصميما للمغزل أيضا، وقد كتب ابنه: «نحو عام 1730 م ظهرت عند والدنا الذي عاش وقتئذ في قرية بالقرب من ليشفيلد، أول فكرة لهذا الاختراع، وانشغل بتحقيقه».

وأخيرا غزل أول خيط قطني، عام 1733 في بناء صغير بالقرب من سيتونكولفيلد، ومن دون مساعدة الأصابع. بالإضافة إلى أن المخترع نفسه، معبرا بكلمات خاصة، وقف بالقرب منتظرا، و«متأثرا بشعور السعادة والاضطراب في آن واحد». حرك هذه الآلة حمار، ولم يبق للعامل إلا مراقبة العمل الصحيح للآلة فقط.

إلا أنه سرعان ما تعرض هذا الاختراع للنسيان-فعلى ما يبدو لم يحن أوانه بعد.

كانت الأنوال القليلة الإنتاجية تكتفي تماما بتلك الكمية من الغزل، التي قدمها الغزل اليدوي البطيء والرتيب.

ولكن في عام 1733 م أدخل جون كاي الميكانيكي والنساخ الإنجليزي، تحسينات جذرية على النول-فقد أنشأ تصميما لم يحتج فيه النساج إلى إدخال المكوك بين خيوط السدى يدويا، حيث جرت هذه العملية آليا وأسرع بكثير.

وانتشرت أنوال جون كاي انتشارا واسعا، ولم يعد الغزل كافيا، فظهرت الحاجة إلى مغازلة أكثر إنتاجية بكثير من المستخدمة.

وفي عام 1767 م صنع جيمس هارغريفز، النجار والنساج من لنكشاير، مغزلا سماه «جيني» تكريما لابنته. وقد استأثرت هذه الآلة بالاهتمام الكبير

نسبيا. وكان المغزل يحرك باليد، ولكن بعضهم أخذ يضع المغازل في بناء كبير ويحركها بمساعدة دولاب مائي. هكذا بدأت تولد معامل النسيج، أولى المؤسسات الصناعية حقا.

ارتبط تطور المغازل أيضا باسم ريتشارد آركرايت، الحلاق من مدينة كريتون، في شمال لنكشاير. وهو الذي نعته ماركس بأنه أكبر سارق لاختراعات غيره. ففي عام 1769 حصل على براءة اختراع «لجهاز مغزله» الذي هو عمليا تكرار لآلة وايت، ولكنه يتحرك بقوة الماء. كان آركرايت ذا همة نادرة. فقد استطاع نشر آلته على نطاق واسع، منشئا شبكة من معامل الغزل والنسيج.

أعطى مغزل آركرايت في عملية الغزل خيطا متينا ولكنه ثخين. وكان خيط مغزل «جيني» أرفع بكثير، ولكنه غير متين. وقد تمكن صموئيل كرومبتون[6] من جمع محاسن هاتين الآلتين وتجنب سيئاتهما في الوقت نفسه. فاخترع الآلة المسماة« البغل الغزّال». ومنذ اختراعها حلت مشكلة الغزل عمليا، وصار ممكنا وجود صناعة غزل بالكميات الضرورية وبإنتاجية كافية تماما.

عندما دشن أول مصنع روسي للنسيج بالقرب من بطرسبرغ عام 1797، وضعت مانيفاكتورة الإسكندر، المجهزة بالمغازل، هيئة المانيفاكتورات برئاسة الأمير نيكولاي يوسوبوف، هذا الاستنتاج عن إنتاجية الآلة: «أثبتت التجارب للهيئة أن المندفة اليدوية تندف في 19 دقيقة رطلا واحدا من القطن، لأجل غزل سوي، أما المندفة المائية فيمكنها ندف ما لا يقل عن 150 رطلا للغزل في 24 ساعة، بجهد عاملين فقط يساعدان في آلية العمل. على العكس من ذلك عندما يجري الندف يدويا فلا يندف العامل أكثر من ثلاثة أرطال وربع الرطل يوميا».

ونقتطف أيضا نبذة مهمة من وثائق ذلك العصر تدل على اقتراب جدي من المسائل التي يشيع في وقتنا الحاضر التعبير عنها بـ« الجدوى الاقتصادية لإدخال التقنية الجديدة». هذه نبذة من رأي الوصي الفخري الأمير فيازيمسكي بالآلة الهيدروليكية، التي شيدها على نهر نيفا السيد بواديبار عام 1801: «بهذه الطريقة أنفق لتشييد هذه الآلة في المانيفاكتورة مبلغ 2200 روبل مؤمنة بذلك حركة كانت تكلف 7200 روبل. ويتضح من ذلك أن

المانيفاكتورة لم تخطىء لا في التريث فقط وإنما كسبت أيضا بهذه الآلة فائدة عظيمة، لا سيما أنه ينبغي أيضا احترام أن الحركة السوية المنتظمة للدولاب المائي تعطينا الآن أجود الخيوط وأرفعها وأمتنها».. إنه تعليل حديث تماما للنفقات الضخمة حسب معيار ذلك الزمن!

انتشرت المغازل في كل مكان بسرعة كبيرة. ولكن كان لذلك مقابل أيضا: فقد ظهر فائض في الغزل لم يكن بالإمكان معالجته بالأنوال اليدوية، فأفلس الكثير من الغزالين العاجزين عن الصمود بوجه منافسة المعامل. أما النساجون فإنهم على العكس ازدهروا. وقد حفظت كراسة لذلك العصر، كتب فيها عن النساجين بحسد ظاهر: «... إنهم يتبخترون، ويتنزهون بالشارع، بأيديهم عصا وورقة ذات خمسة الجنيهات دست بتظاهر خلف عقدة القبعة. إنهم يلبسون جيدا ولم يسمحوا لغيرهم من العمال بالدخول إلى المطعم حيث يجلسون».

إن «بحبوحة» النساجين هذه لم تمتد طويلا كما كان ينتظر. ففي عام 1786 م اخترع القسيس القروي إدموند كارترايت نولا آليا. وانتشرت هذه الآلات بسرعة شديدة - بهذه الطريقة تم انتقال الصناعة النسيجية إلى الأساس الآلي.

ولكيلا يبدو للقارئ، أثناء الحديث عن أعمال ومشاغل نساجي القرن الثامن عشر الإنكليز، أن المؤلفين قد انحرفا بعض الشيء عن مشاكل علم الطاقة وتاريخه، لنشترط أن هدف كتابنا ينحصر بالضبط أيضا فيما يوضح كيفية نشوء المشكلات في المجتمع وفي التقنية، تلك التي تطلبت حلولا جديدة في علم الطاقة.

في الواقع، في الأزمنة القديمة، أمن الإنتاج البدائي للمصنوعات الضرورية بقوى الصانع الخاصة، ولأجل إنتاج الأعمال التي تتطلب الكثير من الجهد باستخدام العبيد والحيوانات المدجنة. في القرون الوسطى ولدت الطواحين المائية والهوائية، كما يبدو، وفرة في الطاقة، فأغنت عن قوة عمل كثير من الناس. ولكن عندما ابتدأ الانتقال من الإنتاج اليدوي إلى الإنتاج الآلي، ذلك الانتقال الحتمي الذي أملاه منطق التقدم التقني نفسه، بنمو حاجات الناس، أصبح واضحا أنه من دون مولدات الطاقة الجديدة، ومن دون محركات جديدة، لا يمكن التطور اللاحق للتقنية. لذلك بالضبط

توقفنا أيضا بهذه الدرجة من التفصيل عند صناعة النسيج، أول صناعة آلية في تاريخ التقنية حقا.

جلي بالطبع أنه ليس فقط تطور الغزل والنسج تعرقل بغياب المحركات. فقد ظهرت صعوبات كبيرة في علم الفلزات والتعدين وفي فروع أخرى، وذلك بسبب أزمة الطاقة.

كانت لهذه الأزمة عدة أسباب. قبل كل شيء من أجل صنع الآلات-الأدوات الزراعية والأسلحة والكثير من الأدوات الضرورية الأخرى تطلب دائما معدن أكثر. وقد استنفدت على نحو كامل تقريبا كل مختلف الرواسب المعدنية السطحية المعروفة في ذلك الوقت. في إنجلترا مثلا عام 1700 م وصل العمق الوسطي للمنجم إلى 120 م، ولكن بعد 50 سنة وصل إلى 200 م تقريبا. وتطلب دائما إنفاق جهد أكثر على سحب المياه الجوفية وعلى تهوية أطراف المناجم وعلى رفع الخامات منها.

مثل هذا الوضع تكون في مناجم الفحم، التي ازداد عليها العبء بشدة في النصف الثاني من القرن الثاني عشر.

المشكلة أنه لاستخلاص الحديد من الخامات استعمل حتى ذلك الوقت الفحم الخشبي فقط، إذ كان الفحم الحجري يضم بتركيبه الكبريت وغيره من الشوائب التي تؤثر في جودة الحديد. ولكن في إنجلترا المغطاة بالغابات الكثيفة لم يشعروا حتى أوائل القرن الثامن عشر بنقص في الفحم الخشبي إطلاقا، فقد عرفت الغابات جميعها تقريبا.

ففي عام 1735 م فقط تمكن إبراهام ديربي الصناعي المجرب أخيرا من الحصول على حديد الزهر العالي الجودة، مستعملا الفحم الحجري المعالج معالجة أولية-فحم الكوك. مما أدى إلى زيادة الحاجة إلى الفحم الحجري بشدة، فاضطروا لاستخراجه من أعماق سحيقة.

من الممتع، أنه حتى في الأدب الرفيع لذلك الزمن، البعيد جدا عن المشاكل« الإنتاجية»، وجدت منجزات إبراهام ديربي انعكاسا لها. ففي الرواية الشعبية المسماة «رحلة هامفر كلينكر»، المطبوعة عام 1768 م، لم يلبث الكاتب الإنجليزي سموليت، أثناء وصفه مغامرات أبطاله الغرامية المعقدة جدا والمشوشة، أن يذكر أيضا «مصنعاً لإنتاج الحديد لا يستهان به»، حيث «يحرقون الفحم الحجري عوضا عن الحطب. هنا تعلموا تنظيفه من

الكبريت، الذي جعل الحديد هشا للغاية».

إن الصناعة المتطورة بثبات كانت بحاجة إلى الطاقة أكثر فأكثر. والتي استطاع الدولاب المائي فقط تقديمها في تلك الأزمنة. (نذكر: أن الطواحين الهوائية استعملت في كل مكان لجميع الأغراض، ماعدا هولندا التي استعملتها، بسبب العديد من الصعوبات، لطحن الحبوب فقط).

وقد تعلموا أن يبنوا الدواليب المائية نفسها قوية قوة كافية، بجهود راميل وبيليدور وسيمثون وفرولوف وغيرهم. وكانت الدواليب المائية متطورة: إذ بلغ مردودها (معامل الفعل المفيد) 60 - 70٪، وقد شيدت المصانع بمحرك مركزي ملبيا جميع الاحتياجات المختلفة للإنتاج-كانت تلك المصانع في الحقيقة نادرة جدا.

في إحدى رسائل دانييل ديفو، مؤلف «روبنسون كروزو» الخالدة، يذكر بمثل هذه المنشأة:«هنا توجد واحدة غير عادية تستحق النظر فريدة في نوعها في إنجلترا: أقصد تلك الطاحونة على ديرفنت، والمحركة لثلاث آلات إيطالية كبيرة لإنتاج الأوركانسين.. إن كل الأجزاء تتحرك بدولاب واحد، زد على ذلك أن بالإمكان إيقاف أي من الآلات على حدة».

بيد أن المحركات الهيدروليكية كان يمكن وضعها فقط على النهر. بالإضافة إلى أن هذا النهر يجب أن يكون سريعا وغزيرا لدرجة كافية. وإذا كان من الممكن بناء مصنع نسيج أو مصنع معالجة المعادن على ضفة النهر، رغم أن ذلك لم يكن دائما مريحا، فإن مكامن الخامات المعدنية أو طبقات الفحم يستحيل تقريبها من الماء مسبقا بأي شكل من الأشكال. وهنا أيضا كانت الطاقة ضرورية من أجل ضخ المياه الجوفية التي تغمر المنجم، ولرفع المعادن المستخرجة إلى السطح. في المناجم البعيدة عن الأنهر اضطروا إلى استعمال قوة الحيوانات فقط. وكان ذلك غير مريح على نحو مروع. في عام 1702 م اضطر صاحب أحد المناجم الإنجليزية لتحريك المضخات التي تضخ الماء لاستخدام 500 حصان. إن الحاجة للمضخات والرافعات بالتحديد كانت الدافع الأول لإنشاء المحركات الجديدة، التي أمكن أن تعمل بغض النظر عن وجود نهر قريب أو عدم وجوده.

غير أن استثمار الدواليب المائية رافقته صعوبات كبيرة نتيجة موسمية منبع الطاقة هذا، وخاصة في الأماكن المصحوبة بشتاء قاس وطويل.

كانت المصانع المنتجة للحديد في تولا، التي يملكها مارسيليست وأكيما، تعمل بقوة الماء، وقد شغلت الوحدات الهيدروليكية منافيخ الأفران العالية، ومنافيخ حدادي التعدين الضخمة، والمطارق الكبيرة، والمثاقب، والمخارط. وبكلمة،: استعملت في كل مكان. ولكي يؤمن لها الكمية اللازمة من الماء بنيت السدود العديدة. واتضح بسرعة إلى حد ما أنه لا يجوز دفع الماء مباشرة من السد إلى الدولاب المائي، وذلك بسبب عدم انتظام جريان النهر في مختلف أوقات السنة. عندئذ اضطروا لإنشاء «صناديق» متوسطة للمياه بالقرب من السد في الورشة نفسها، لتغذية الآلة العاملة بالماء. غير أن كل ذلك لم يساعد إلا قليلا. ففي الوثائق المتعلقة بعمل المصنع، أشار إلى أنه في فصلي الربيع والخريف، بسبب كثرة المياه، «وفي فصلي الصيف والشتاء، بسبب قلتها، توجد في المصانع أيام عديدة من دون عمل».

وقد اتضح أن مسائل التصميم الناشئة أثناء محاولات ضبط الدواليب المائية وآليات تحريكها، معقدة جدا أيضا. فالدواليب المائية عادة بطيئة الحركة، ولكي تدور دورانا سريعا استخدمت الآليات المعقدة كثيرة العطل والتي كانت تتكسر في أغلب الأحيان وتسببت في توقف الإنتاج.

باختصار، أخذ الإحساس يتضح بضرورة المحرك المستقل عن النهر، والذي يمكن وضعه في كل مكان، ويمكن ضبطه بسهولة، وذي استطاعة كافية في الوقت نفسه. وقد أدت أبحاث العديد من المخترعين المندفعين بالمتطلبات الملحة للإنتاج. إلى إنشاء آلات لتوليد الطاقة من نوع جديد.

بحثا عن المحرك الأبدي

إن تفكير الناس في المنابع الممكنة للطاقة قادهم بصورة حتمية إلى إنشاء الآلات التي يمكن أن تعمل ذاتيا.. المحركات الأبجدية. وفي الواقع، يوجد في العالم كثير من الأشياء والظواهر تتم الحركة فيها كما يبدو ذاتيا: يتناوب الجزر والمد في البحار ولا تتعب الأنهر من الجريان والريح من الهبوب. وتشرق الشمس وتغيب بثبات لا يدرك كنهه.

لقد كانت محاولات إنشاء المحرك، الذي لا يكلف تشغيله نفقات ما، مبررة تماما من الناحية النفسية. وهي على كل حال لا تقل أبدا عن الأبحاث القديمة العهد للسيمياويين لكشف حجر الفلاسفة. وبالطريقة نفسها،

كالسيمياويين، أسهم مخترعو المحركات الأبدية إسهاما عظيما في تطور العلم، والذي كانت نتائجه السلبية - أي الاستنتاجات عن عدم إمكان شيء ما-لا تقل أهمية عن النتائج الإيجابية.

نجد أول ذكر للمحرك الأبدي في المخطوطة السنسكريتية القديمة سيد خانت - «سيرومان»، التي كتبها نحو عام 1150 م الرياضي الهندي العظيم بخسكار. وقد جرى الحديث في هذا البحث عن دولاب ذي أخاديد خاصة مملوءة بالزئبق. وأكد أنه إذا ثبت مثل هذا الدولاب على محور وأعطي دورانا ابتدائيا فإنه فيما بعد سيدور دورانا أبديا. ومثل هذا الدولاب نفسه تقريبا ذكر أيضا في القانون الفلكي للملك كاستيلي ألفونس العظيم، الذي يرجع إلى عام 1272 م. وتوجد ثلاثة نماذج للمحرك الأبدي في المخطوطات العربية لعام 1200 م تنتمي إلى ريشة فخر الدين رضوان بن محمد.

أخفى مخترعو المحركات الأبدية، بغيرة، أسرارهم. وقد ظهر الوصف التالي للمحرك الأبدي بعد عدة سنوات فحسب. ففي الكتاب ذي الاسم الغريب «كهف السحر الطبي» المنشور في بداية القرن السادس عشر، يصف الطبيب والفيلسوف السيمياوي الإيطالي ماركو أنطونيو زيمارا «الطاحونة الهوائية الأبدية». فقد اقترح وضع منفاخ مقابل شفرات الطاحونة يعمل بالطاحونة نفسها. كان زيمارا متأكدا على ما يبدو من أن الهواء الخارج من المنفاخ سيتمكن من تدوير دولاب الطاحونة نفسه الذي يحرك المنفاخ.

إنه كما يقال، محرك أبدي «يعمل بالهواء المضغوط» فريد بتصميمه، رغم أنه اقترحت محركات مشابهة تعتمد على استخدام طاقة المياه أكثر من مرة. في أساسها كانت الرافعة المائية الحلزونية - لولب أرخميدس. وبمساعدته بدا الحصول على محرك أبدي أمرا في منتهى البساطة: يرفع لولب أرخميدس الماء من الخزان، ويدير الماء الدولاب المائي، الذي يحرك بدوره لولب أرخميدس، وهكذا إلى ما لا نهاية.

في المؤلف الذي نشره روبرت فلود الطبيب والسيمياوي والفيلسوف الإنجليزي عام 1618 م، يقدم رسما ووصفا لمثل هذه الطاحونة ذات الدورة المغلقة. وأصدر غيورغ أندرياس بيكلر في ألمانيا عام 1685 م كتاب «مسرح الآلات الجديدة»، وقد وصف ورسم فيه بدقة وحب مجموعة من الطواحين

ذاتية الحركة المعتمدة على لولب أرخميدس، فضلا عن أنه كان متأكدا تماما أن هذه الفكرة هي فكرته بالذات. ولكن قبل ذلك بأربعين عاما كان شبيهه الأسقف التشيستيري جون ولكنز قد حلل عمل مثل هذه الطاحونة بالتفصيل، وأثبت أنها لن تعمل، وعزز تصوراته بالتجربة بعد أن صنع نموذجا لمثل هذه الآلة.

لم تكن فكرة الدولاب الدائر ذاتيا بمساعدة أثقال غير متزنة بأقل انتشارا بين مخترعي المحركات الأبدية. ولأول مرة، ورد مثل هذا الدولاب الذاتي الحركة، في الرسوم التقريبية لفيلاردو أنيكور المهندس المعماري الباريسي. وقد كتب: «حاول الصناع المهرة مرات عديدة، من دون نجاح، اختراع الدولاب الذي يمكن أن يدور ذاتيا. وقد وصفت هنا طريقة إنشاء مثل هذا الدولاب بمساعدة عدد فردي من المطارق الخشبية أو عن طريق الزئبق».

توجد تعديلات مختلفة للدولاب ذاتي الدوران موصوفة في بحوث ليوناردو دافينشي وملاحظاته المحفوظة في المتحف البريطاني. وتوجد أيضا رسوم تقريبية مماثلة في «المجلة الأطلسية». وذلك يشهد من دون شك على أن ليوناردو كان مطلعا اطلاعا جيدا على محاولات صنع المحرك الأبدي، رغم أنه نفسه كان متأكدا من عدم إمكان إنشائه: «عجبا من باحثي الحركة الأبدية! كم من المشاريع الجوفاء في بحوثكم المتماثلة! اذهبوا من هنا مع باحثي الذهب».

كان مفكرو النهضة الطليعيون واثقين من عقم محاولات بناء المحرك الأبدي، وكان لهم لذلك تعليلاتهم.

كتب الميكانيكي والرياضي جيرولامو كاردانو، عام 1551م: «لكي تحدث الحركة الأبدية ينبغي على الجسم الثقيل المتحرك، بوصوله إلى نهاية الطريق، أن يستطيع العودة إلى وضعه الابتدائي، ولكن هذا غير ممكن من دون أرجحية، تماما كما لا يمكن في الساعة أن ترتفع السنجة الهابطة وحدها». وقد انطلق سيمون ستيفن الرياضي العظيم، باستنتاجه قانونه عن توازن الأجسام على المستوى المائل من بديهية عدم إمكان الحركة الأبدية، وقد نفى أيضا إمكان الحركة الأبدية غاليليو وغيوغنس وعلماء غيرهما.

إن ذلك، على كل حال، لم يمنع مخترعي المحركات الأبدية من مضاعفة

تصاميمهم المستحيلة. وقد زعم قسم منهم بإخلاص أنهم توصلوا لإنشاء المحرك الأبدي لو لم يعقهم شح الوسائل أو الوقت. وكان بينهم دجاجلة صرحاء أيضا، وميكانيكيون دهاة وحاذقون، ضاربوا لتحريك الاهتمام بالمشكلة، وهم يعرفون مقدما أن الحركة الأبدية غير ممكنة. وقد اختلقوا آلات معقدة جدا، مخفين بدقة «المحركات»الحقيقية لها والتي تبين غالبا أنها بعض أقرباء أولئك المخادعين أو خدم لهم.

إن الاقتراحات الجمة عن إنشاء المحركات الأبدية، التي لم تعمل ولن تستطيع أن تعمل، اضطرت في نهاية الأمر، وكما هو معروف، الأكاديمية الفرنسية إلى اتخاذ قرار عام 1775 م، بعدم النظر بعد ذلك في التصاميم المماثلة، ولكن حتى هذا الحل أيضا لم يوقف الراغبين بإسعاد الإنسانية بمنبع مجاني للطاقة. فلم تمت الفكرة الثابتة إلى الآن. ونحن مع الأسف. لا نملك إمكانات للوقوف بتفصيل أكثر على مثل هذا الموضوع الممتع الشائق. ومن الضروري لنا الآن أن نعود إلى تلك المخترعات والإنجازات التي غيرت في الواقع شكل الصناعة، وأكثر من ذلك أنشأت في الحقيقة الإنتاج الحديث.

إن محاولة الحل الشامل لمشكلة توليد الطاقة بمساعدة الـ «بيربتيوم موبيل»[7] - أي «الحركة الأبدية» قد نزع منها مجدها بالعلم. ولكن العلم نفسه لم يستطع بعد أن يقترح شيئا بالمقابل.

الهوامش

(1) إيدالكو: من الإسبانية (Hidalgo) - وهي الفروسية الصغيرة والمتوسطة في القرون الوسطى في إسبانيا-مصطلحا إيدالكو مؤلف بالإسبانية من الأصل hijo - ابن و dalgo - المالك. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلداً. المجلد 10-دار سوفييتسكا إنسكلوبيديا، موسكو 1972، ص 34) - المترجم.

(2) بسالطر من اليونانية (Psalterion) - يستخدم عادة مصطلح بسالطر لمجموعة المائة والخمسين مما يسمى بسالطر دافيد، التي أنتج بها القسم الثالث من القانون العام القديم للكتاب المقدس. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 21 - دار سوفييتسكا إنسكلوبيديا، موسكو 1975، ص 181) المترجم. 3

(3) الورنكيين: جمع.. مفرده ورنكي-وهو المنحدر من قبيلة ورنك الإسكندنافية القديمة - المترجم.

(4) مرافق: جمع.. مفرده مرفق - وحدة قياس قديمة - المترجم.

(5) أغريكولا (1494-1555) م. اسمه غيوغ (كنيته الحقيقية باوير Bauer) (من اللاتينية - Agricola) - عالم ألماني في مجال التعدين والميتالورجيا وهو طبيب بشري. درس الخواص العلاجية للمعادن والأجسام المعدنية. (الموسوعة السوفيتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد1 - دار سوفييتسكا إنسكلوبيديا، موسكو 1970) ص 202 - المترجم.

(6) صموئيل كرومبتون (1753 - 1827) م من اللاتينية (Crompton) - مخترع إنجليزي في مجال النسيج، ولد في فيرفود بالقرب من مدينة بولتون، ولاية الكونت لانكاشير من عائلة مسيحية اشتغلت خاصة بالصناعة النسيجية. عمل كرومبتون الذي فقد أباه مبكرا غزالا ونساجا. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 13 - دار سوفييتسكا إنسكلوبيديا، موسكو 1973، ص 477) - المترجم.

(7) بير بتيوم موبيل: كتب في النص الأصلي بأحرف روسية عن اللاتينية (Perptuum Mobile) وتعني الحركة الأبدية. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلداً - المجلد 19 - دار سوفييتسكا إنسكلوبيديا، موسكو، 1975، ص 435) - المترجم.

3 صاحب الجلالة البخار

أعاجيب على البخار

بالإمكان وضع مكتبة ضخمة من البحوث والكتب والمقالات، التي كتبت في أوقات مختلفة، وبلغات متنوعة، وكرست لتاريخ محاولات استعمال قوة البخار للحصول على عمل مفيد. إن اهتمام الباحثين بهذه المشكلة واضح، ذلك لأن اختراع الآلة البخارية بذاتها، التي قدمت للإنسانية الطاقة الضرورية لها، ضاعف مرات عديدة سعة السير على طريق التقدم وأدى، في نهاية الأمر، إلى عصر الثورة الصناعية والتقنية العلمية والاجتماعية.

تمتد بداية هذا التاريخ في عمق القدم، في عصر الحضارة اليونانية والرومانية القديمة، فقد عرف اليونانيون القدماء استعمال قوة البخار، وبمساعدته بالذات وجدت خدعة أبواب المعابد التي أذهلت مخيلة المعاصرين: تلك الأبواب التي كأنها تفتح من تلقاء نفسها عندما تضرم النار في الموقد القرباني.

وقد ذكرنا اختراع هيرون الإسكندري أيضا- الإيوليبل الشهير. ويرى كثير من العلماء في هذا الجهاز نموذجا أصليا للعنفة البخارية الحديثة. وقد اخترع هيرون لعبة النافورة أيضا، التي تحتوى

على ماء بدأ يغلي في وعاء مغلق، ويضطر من نفسه إلى أن ينسكب من أنبوب متصل بالوعاء. إن هذه الخرافة قد لقيت تداولا واسعا، وكأنما هيرون اخترع جهازا ما يشبه الآلة البخارية التي وضعت على منارة فاروسكي. وقد استعمل برنارد شو هذه الخرافة في مسرحيته «سيزار وكليوباترا». فعندما وصل سيزار إلى منارة فاروسكي، لم يصدق أبدا أن شخصين فقط، عجوزا وحدثا، استطاعا أن يرفعا الوقود الضروري إلى رأس المنارة. فيوضح صديق مقرب لسيزار: «لديهما ثقل موازن وآلة ما فيها ماء يغلي. لا أعلم ما الأمر هناك. فهما يرفعان براميل زيت صغيرة وهشيما لشعلة البرج. ولكن حتى هيبة الكاتب المسرحي الفذ لم تجعل الخرافة أقرب إلى اليقين. ولا توجد أدلة محددة عن هذه الآلة. ولا نعرف ما إذا بنى هيرون اختراعه الإيوليبل هذا أم تقدم بمثل هذه الفكرة فقط.

وصف ليوناردو دافنشي اختراعا زعم أنه مدفع بخاري لأرخميدس، هو الأرخيترونيتو. وقال حرفيا: «الأرخيترونيتو هو مدفع من النحاس الرقيق، من اختراع أرخميدس، يقذف كرات من الحديد بصخب وقوة كبيرين. يستعمل بالطريقة التالية: القسم الثالث للمدفع يقع ضمن كمية كبيرة من الفم المشتعل، وعندما يسخن جيدا، يفك اللولب، الذي يقع تحت خزان مائي، وعندما يفك اللولب يفتح ممرا إلى الأسفل، وبعدما ينصب الماء، يجري في القسم الساخن من المدفع، وفجأة يتحول إلى بخار حتى، على ما يبدو، تحدث الأعجوبة - لهذه القوة المرئية والصخب المسموع. إنه يقذف الكرات، التي تزن تالنتونا[1] واحدا، إلى مسافة ستة ستاديونات»[2].

وبالمناسبة، منذ زمن غير بعيد جدا، قرر المهندس اليوناني ي. ساكاس اختبار حقيقة حديث ليوناردو هذا بصنع جهاز صغير شبيه بالأرخيترونيتو. يتألف النموذج الذي حضّره ساكاس من أنبوب طوله ثلاثون سنتيمترا، مصنوع من شجرة التوت، يتصل في قسمه السفلي بدورق معدني، مسخن حتى درجة 400، وكانت القذيفة عبارة عن كرة تنس مملوءة بالأسمنت، زنتها غرام. في الاختبار الذي حضره مشاهدون كثيرون انطلقت «القذيفة»من السبطانة لحظة وصول الماء إلى الدورق من خلاله صمام خاص إلى مسافة أربعين مترا تقريبا. إن هذه القذيفة، بالطبع، لا تزن نحو أربعين كيلو غراما، ولا تنطلق إلى مسافة أكثر من كيلومتر، كما ذكر ليوناردو، ولكن

الإمكان المبدئي، لإنشاء مثل هذا النموذج من المدفع تأكد في التجربة. وإذا عرفنا قابلية اختراع أرخميدس العظيم أمكننا على نحو جديد، البحث في المصادر التاريخية للحضارة اليونانية والرومانية القديمة، التي يذكر فيها أنه في زمن حصار سيراكوز قصف الأسطول الروماني بمدافع غير معروفة من قبل.

عرف يونانيو المرحلة الهيلينية[3] القوة الدافعة للبخار. وكانوا يعرفون استعمال مختلف المعادن، واستعملوا العتلات، والدواليب، والمسنّنات، وحتى الأسطوانة والمكبس كانا مستعملين في المضخة المستخدمة لمكافحة الحريق كتيزيبيا! ولنطرح السؤال نفسه، الذي طرحه مؤرخو العلم على أنفسهم مرات عديدة: لماذا إذن لم تبن وقتئذ الآلة البخارية؟

بعض الأسئلة جلي. مثلا، لماذا نرهق أنفسنا بالتفكير في محركات جديدة، في الوقت الذي كان يوجد من حولنا ما طاب من«المحركات الحية»- العبيد، القادرين تماما على العمل السهل؟ والسبب الموضوعي الآخر، الذي يقدمه المؤرخون، هو عدم وجود الحديد والوقود في مكان واحد.

ولكن ثمة ظرف آخر أيضا لا يقل جوهرية، إنه الفهم الخاطئ من حكماء ذلك الزمن لجوهر العمليات الفيزيائية الجارية. إن فكرة وجود بخار الماء لم تخطر في بالهم أبدا.

كان القدماء، المقيدون بتعاليم أرسطو عن أربعة عناصر طبيعية راسخة يعتقدون أنه عندما يسخن الماء يتحول إلى هواء. هيرون، مثلا، كتب ما يلي:

«الماء المتحول بالحرارة، يصبح هواء. والأبخرة الصاعدة من البواتق المسخنة ليست إلا سائلا ممددا صار هواء، مادامت النار تفكك كل صلب وتحوله». وحتى الإيوليبيل الذي سمي بهذا الاسم على شرف إله الرياح- الإيولوس-لم ينظر إليه على أنه محرك محتمل، بل جهاز رصد جوي.

وقد نظر فيتروفي إلى الإيوليبيل من هذه النوعية بالذات في بحثه. فكتب: «الريح - هي الموجة المتحركة من الهواء مع حركة مجهولة غير محددة. فهي تظهر في الحر والرطوبة، وضغط الحرارة يؤدي إلى هبوب عاصفة قوية. إثباتا لذلك يمكن الاستشهاد بالإيوليبلات النحاسية، وبهذه الطريقة تعرف الحقيقة الإلهية عن علاقات القوانين الخفية للسماء بمساعدة الأدوات المخترعة. وبالضبط: تصنع أوعية نحاسية جوفاء ذات

فتحة شديدة الضيق. وعبر هذه الفتحة تملأ بالماء، وبعد ذلك توضع على النار. قبل أن يسخن الماء لا توجد هبّات، ولكن عندما يبدأ بالغليان ينطلق نفخ قوي، وبهذه الطريقة، من هذا التصور الصغير يمكن أن نتعرف على فكرة عن قانون واسع وكبير من قوانين الطبيعة.

أكثر من خمسة عشر قرنا بعد هيرون لم يجر أحد محاولة لاستعمال بخار الماء. في الحقيقة، توجد في بعض المخطوطات أماكن ضبابية، يمكن تأويلها عند الرغبة بإيماءات عن استخدام البخار، ولكن في هذا الأمر لم تعرف وثائق أو دلائل تستحق الثقة.

روبرت ستيوارت، أحد مؤرخي التقنية للقرن التاسع عشر، يشير إلى مجموعة مواعظ ماتيزي المحترم قس أبرشية إيوخيمستال في بوهيميا[4]، التي نشرت عام 1562، في إحدى هذه المواعظ يوجد مثل هذا القول المأثور المبهم: «بمساعدة الماء والهواء والنار، وبمعونة أدوات مختلفة يرتفع الماء والخام إلى الأعلى من أكبر عمق بنفقات زهيدة، ويمكن أن نستخرج ونعالج تلك الكنوز على نحو أسرع بكثير.. يا عمال المناجم! مجدوا بالأغاني الإنسان العظيم، الذي يرفع الآن الخام إلى البلاتن[5] بالهواء، والماء إلى سطح الأرض بالنار.

أية آلات أدهشت مخيلة القس ماتيزي؟ إن الذي يمكن أن يقال بحسم: إنه لو وجدت في المنجم آلة بخارية لما تجاهل المعاصرون، الذين كان بينهم مهندسون حقيقيون، مثل هذه الواقعة!

وهاهي حكاية مبهمة أخرى أيضا ترجع إلى أول الأعمال لاستخدام قوة البخار.

في السابع عشر من يونيو عام 1543، اجتمع في ميناء برشلونة كثير جدا من جمهور النبلاء. دفعهم إلى ذلك اختراع القبطان البحري بلاسكو دي غاراي، الذي اقترحه على الملك شارل الخامس. كان الاختراع متميزا لدرجة أنه في اللجنة، التي وجب عليها اختباره، اشترك عدد من أرفع المقامات، مثل محافظ برشلونة إنريكو دي توليدو، ونائب مستشار كاتالوني بيدرو دي كاردوني، وأمين الصندوق رافاغو وغيرهم. اقترح القبطان دي غاراي عرض الآلة، التي بوساطتها استطاعت السفن أن تتحرك، حتى في وقت سكون الريح، ودون مساعدة المجاديف والأشرعة.

ويمكن بسهولة تصور اهتمام الحكومة الإسبانية التي جهزت مرارا العديد من البعثات للسيطرة على ما وراء البحار المكتشفة منذ وقت قريب بهذه الآلة.

لم يكشف المخترع سر إنجازه. لقد وضع الآلة على سفينة «سانتاترينيتاس» بنفسه، وعرض عملها بنفسه. وقد عرض على أعضاء اللجنة فقط أنه وضع على ظهر السفينة مرجل كبير لغلي الماء، ودواليب متحركة مثبتة على جانبي السفينة. وقد لاحظ جميع الموجودين، أن السفينة دارت بسرعة حتى بلغت سرعتها نحو كيلومترين في الساعة. وأكد خصم المشروع، أمين الصندوق رافاغو، رغم اعترافه ببعض المزايا الإيجابية، أنها معقدة ومكلفة للغاية، فضلا عن أنها معرضة للانفجار. بعد انتهاء التجربة، سحب بلاسكو دي غاراي، صونا منه لسر اختراعه بدقة، عن ظهر السفينة كل الآلة، وسلم الأقسام الخشبية للحفظ في مخزن أسلحة برشلونة، وأما الأجهزة الأخرى التي يكمن فيها السر فنقلها معه.

لا توجد أخبار عن تكرار تجربة دي غاراي أو عن استخدام هذا الاختراع. معروف فقط أنه رُفع وكوفئ بسخاء. هل يمكن افتراض، أن أول باخرة قد أبحرت من ميناء برشلونة، في منتصف القرن السادس عشر إنه أمر مشكوك فيه.

تعرّف العالم الإنجليزي ماكفريغور بعد ثلاثة قرون، بموافقة من ملكة إسبانيا، على المواد الأرشيفية، ومن ضمنها، على رسائل بلاسكو دي غاراي نفسه. وقد أقرّ أن الكلام يجري ليس عن البخار مطلقا، وإنما عن سفينة بدواليب تجديف فقط، يحركها مجذفون، وأما ما يتعلق بمرجل الماء فقد استعمل على ما يبدو لتشغيل أجهزة شبيهة بالإيوليبل. هل يمكن أن يكون دي غاراي قد سبق زمنه بهذه الدرجة من القوة، بحيث حاول استعمال مبدأ الحركة النفاثة في البحر؟ يبدو أننا لن نعرف الجواب عن هذا السؤال أبدا.

الثورة العلمية في القرنين السادس عشر والسابع عشر، المرتبطة بأسماء كوبرنيكوس، وغاليلو، وفرنسيس بيكون، وهيلبرت وغيرهم كثير، قطعت أغلال كلامية القرون الوسطى، فأدخلت التجربة إلى العلم، وصدّقت نتائجها صحة الاستنتاج فقط. وأنشئت أجهزة جديدة، يدرك العقل البشري

بوساطتها قوانين الطبيعة.

من الطبيعي أن العلماء والمهندسين لم يستطيعوا تجاهل دراسة خواص بخار الماء المعروف للجميع منذ زمن بعيد. فقد سبق للفيزيائي جامبا تيست ديل بورت أن اخترع عام 1601 جهازا خاصا لمحاولة تسجيل كم قسما من البخار-الذي مازال، في الحقيقة، يسميه هواء - يمكن أن يتحول إليه قسم واحد من الماء. يحتمل أن تجاربه قد أدت غالبا إلى انفجارات؟ فقد ذكر «القوة المخيفة» في مؤلفه أكثر من مرة.

في عام 1615 صدر في فرانكفورت كتاب «أسباب القوة الدافعة ذات الحكايات المفيدة والمسلية المختلفة» بقلم المهندس المعماري الفرنسي سولومون دي كو، الذي اشتغل بتجهيز النوافير في قرى الشخصيات النبيلة. وقد وصف في هذا الكتاب، تحت رقم خمسة، الاختراع التالي للمؤلف: «يمكن أن تستخدم طريقة رفع الماء بمساعدة النار أساسا للآلات المختلفة، التي أصف واحدة منها هنا». ثم يلي ذلك وصف للنافورة، التي سبق أن اخترعها هيرون الإسكندري. ارتفع الماء في هذه الآلة فعلا بقوة النار، ولكنها بعيدا لم تكن آلة بخارية بعد.

لم يلاحظ سولومون دي كو حتى الفرق بين البخار والهواء الساخن، ولكنه بعد أن قدّر قوة البخار الجبارة قام بتجارب على الأجهزة البخارية. وصفت في الكتاب التجربة التالية: «... تصبح هذه القوة أكبر أيضا، عندما يتحصل على الهواء من الماء الساخن في الوعاء والمتحول إلى بخار، وهذا البخار يبقى في الوعاء. خذ مثلا كرة نحاسية بقطر داخلي يساوي قدما واحدة، وسمك جدارها بوصة واحدة، املأها بالماء من خلال ثقب في الجدار، سد الثقب بسدادة سداً محكما بحيث لا يستطيع الماء الخروج. وضع الكرة على النار. وستجد أنه عندما تسخن الكرة جيدا، سيقطعها الضغط الداخلي بقعقعة مثل البيتوردا[6].

ظهر في عام 1629 كتاب بعنوان «آلات مختلفة»، بقلم السنيور جوفاني برانك، الذي عاش في روما، والمهندس المعماري كنيسة لوريت، وكاتب عدة مؤلفات في فن العمارة وعلم الميكانيك. وصف برانك في كتابه هذا جميع الآلات التي عرفها، ومع أنه لم يخف ما لم يخترعه من الآلات، ماعدا واحدة، كانت على ما يبدو مفخرته. تتألف هذه الآلة (في الرسم طبعا) من

رأس إنساني من النحاس دقيق الصنع مملوء بالماء. وعندما أضرمت النار تحت الرأس انطلق من فم التمثال تيار من بخار توجه إلى دولاب مجهز بمجاديف. كان على الدولاب أن يتحرك تحت ضغط البخار، وأن يحرك - من خلال مجموعة معقدة من آليات الحركة - مدقات ثقيلة لسحق الخامات المختلفة.

في بعض المغازي كانت هذه فكرة العنفة البخارية، التي كان تحقيقها في ذلك الوقت غير ممكن على الإطلاق نتيجة صعوبات تقنية عديدة، والتي أمكن تذليلها فقط بعد 250 سنة!

قام إدوارد سوميرست بتطوير فكرة استخدام البخار لرفع الماء، وهو المركيز الورسيستري الثاني، الذي عاش في زمن الحرب بين شارل الأول وبرلمانه. كان هذا المدّعي للقب مخترع الآلة البخارية يتمتع بشخصية رائعة للغاية.

كانت حياته غنية بمختلف المغامرات. فقد أبدى منذ شبابه اهتماما بالآلات والآليات المعقدة، وبالتجارب التي كرس لها شبابه الذي أمضاه في القصر التليد ريغلان. ثم أولع بالسياسة واشترك بنشاط في مكائد القصور المعقدة. وبعد هزيمة شارل الأول سافر المركيز إلى أيرلندا . حيث سجن. وبعد فترة من الوقت تمكن من الهرب إلى فرنسا وكان هناك إلى جانب الملك. ولكن الحياة الهادئة سرعان ما أسأمت المركيز النشيط. فقرر العودة إلى الوطن عميلا سريا للملك. وفي إنجلترا اكتشفوه وحبسوه في التاور، فاضطر أن يقضي فيه سنين عديدة. وقد ادعى المركيز أنه في فترة السجن بالضبط توصل إلى استنتاج عن إمكان استخدام قوة البخار لرفع الماء.

بعد إطلاق سراح المركيز نشر كتابا هو«حياة تلك الأسماء وصور تلك الاختراعات، التي تخطر ببالي...»، رأى النور عام 1663. في تلك السنة نفسها قرر المجلس النيابي بكتاب خاص أنه يحق للمركيز وخلفه خلال 99 سنة أن«يجني ربحا من الآلة الدائرة بالماء ومن استخداماتها».

قضى المركيز السنوات الأخيرة من حياته المضطربة في ضيعته قرب لندن. في فوكسهول، حيث تابع العمل على تطوير آلته بمساعدة الميكانيكي كالتهوف.

لم تحفظ معلومات موثوق بها عن اختراع المركيز، ولم يعرف حتى إذا

كانت الآلة قد صنعت في نهاية الأمر أم لا. في الحقيقة توجد شهادات صموئيل دي كوربيو، المؤرخ الفرنسي، وكوزيمو ميديتش الثالث، اللذين يحتمل أن يكونا قد رأيا آلة رافعة للماء في فوكسهول في الستينيات من القرن السابع عشر، وزعما أنها رفعت الماء لارتفاع نحو 15 مترا. ولكن لم يذكر أحد أن الماء قد رفع بقوة البخار.

عرض المركيز في كتابه الاختراع رقم 68، المكرّس لاستثمار قوة البخار، عرضا ضبابيا وناقصا بحيث لا يمكن فهم مبدأ عمله إطلاقا. وإليكم ما كتب المركيز: «اخترعت وسيلة مدهشة وقديرة بالمقدار نفسه لرفع الماء بمساعدة النار ودون مضخات.. في وسيلتي ليس للعمل حدود على أن يكون الوعاء متينا إلى درجة كافية. من أجل التجربة أخذت مدفعا كسرت نهايته، سكبت فيه ماء حتى ثلاثة أرباعه، أغلقت بالصنابير تلك الفتحة الموجودة في أسفل المدفع والمخصصة لفتيل البارود، والنهاية المكسورة. ووضعت المدفع في النار فانفجر بعد أيام محدثا دويا قويا. وعندما وجدت وسيلة لتحصين الأوعية تجاه القوة الداخلية، وملئها بالماء وعاء بعد الآخر، رأيت أن الماء يندفع كما من النافورة اندفاعا ثابتا إلى ارتفاع 40 قدما. إن وعاء واحدا مملوءا بالماء الذي تخلخل بالنار قد رفع أربعين وعاء من الماء البارد. يجب على العامل الذي يراقب سير العمل أن يفتح صنبورين فقط بحيث عندما يفرغ أحد الوعاءين يمتلئ بالماء البارد من جديد، ويبدأ الآخر بالعمل، وهكذا دواليك. ويجب أن يحافظ على النار بمستوى ثابت للتأثير من قبل ذلك العامل الذي يجد وقتا كافيا في الفترة الفاصلة بين فتح الصنابير.

هذا كل ما كتبه المركيز عن آلته. وعلى أساس هذا الوصف المبهم أعاد هنري ديركس، كاتب سيرة إدوارد سومرست المتحمس، إنشاء التصميم المفترض للآلة، التي دخلت بالنتيجة في كثير من البحوث التاريخية، وأعطت أساسا لمؤرخ التقنية الإنجليزي لاعتبار سومرست مخترع الآلة البخارية، مما استدعى احتجاجا دائما من الفرنسيين، الذين يزعمون أن الآلة البخارية اخترعها سولومون دي كو، ثم اطلع عليها المركيز نفسه أثناء إقامته في فرنسا حيث أعاد صنعها في إنجلترا. وإثباتا لذلك أورد العالم الفرنسي المشهور ومؤرخ العلم آراغو الوثيقة الطريفة التالية، لكونها قبل كل شيء

وصفا لأخلاق ذلك العصر البعيد. والكلام يجري عن رسالة ماريون ديلون وهي حسناء معروفة من حاشية ملك فرنسا لويس الثالث عشر بعثت بها إلى أحد المشاركين في المؤامرة ضد الكاردينالي ريشيلو.

«باريس، 3 فبراير عام 1641.

لقد نسيتموني في ذلك الوقت في ناربون، حيث استرسلتم في تسلية البلاط وتحرشتم بكاردينالي. وبالتوافق مع وضعكم أولي للورد الإنجليزي العظيم، المركيز الورسيستري، احتراما، وأرافقه أو بالأحرى يرافقني عند مشاهدة مختلف المعالم. وعلى سبيل المثال زرنا منذ وقت قريب البيسيتر، حيث اكتشف كما بدا له عبقرية عند أحد المجانين، وعندما تجاوزنا المشفى رأينا كيف ظهر وراء القضبان شخص يكاد يموت من الذعر، وصرخ بصوت عال وهو متشبث برفيقي: «أنا لست مجنونا! أنا صنعت اكتشافا، يزدهر باستخدامه كل بلد!» - «إذن فيم ينحصر اختراعه؟» - سألت مرافقنا حارس المشفى، الذي أجاب وهو يهز كتفيه: «وي.. إنه شيء بسيط جدا، ولكن أنتم أنفسكم لن تحرزوه أبدا. إنه استخدام الماء المغلي». انفجرت أنا ضاحكة. وتابع الحارس: «إن هذا الإنسان يسمي نفسه سولومون دي كو، وقد وصل من نورماندي منذ أربع سنين لكي يسلّم الملك بحثا عن الخواص العجيبة للبخار. أرسله الكاردينال غير مصغ له. وبدلا من أن يهدأ هذا المجنون قام يلاحق سيدي الكاردينال في كل مكان، وعندما ضجر الكاردينال من إزعاج دي كو المستمر له بهرائه هذا، أمر بإرساله إلى مستشفى المجانين حيث قضى ثلاث سنين ونصفا. وكان يصيح بكل مارّ أنه ليس مجنونا وإنما عمل اكتشافا رائعا». قال اللورد الورسيستري: اصحبوني إليه، أريد أن أتحدث قليلا معه. صحبوه إليه وعاد حزينا ومشغول البال. «إنه الآن مجنون حقا، هتف اللورد بصوت عال، الإخفاقات والسجن عكّرت عقله إلى الأبد. أنتم من جعل منه مجنونا. لأنه عندما ألقيتم به في الزنزانة، حبستم أعظم عبقرية في زمننا. ولو كان في بلدي ما اكتفوا بعدم حبسه فحسب، وإنما طمروه بالثروة أيضا».

ومن الطريف أنه مثلما زود المؤرخ الإنجليزي وصف اختراع المركيز الورسيستري برسم من ابتكاره، أرفق أراغو بالدقة نفسها هذه الحكاية برسم يمثل لقاء المركيز الورسيستري بسولومون دي كو في مشفى المجانين.

لا شيء أيضا يحكى عن أن مؤرخي التقنية الإنجليز جميعا رأوا في الرسالة التي سردها أراغو مجرد تزييف وتضليل.

مدّع آخر للقب مخترع

على طريقة المركيز الورسيستري نفسها تقريبا، مضى مدع آخر للقب مخترع للآلة البخارية، إنه صموئيل مورلند. وقد عاش مورلند حياة ملأى بالمغامرات مثلما عاش المركيز تماما، فتارة هو ملكي، وتارة مع ذلك المتحمس لخدمة البرلمان نفسه، منشغلا تارة بالأعمال الخارجية، وتارة بمراقبة المراسلات، وتارة بوكالة الاستخبارات الإنجليزية الإنتلجنس سيرفيس. أوصله اهتمامه بالمخترعات إلى بعض اللُقى القيمة جدا. وقد ابتكر خاصة بوقا لتكبير الصوت (مكبر الصوت)، وحاول إنشاء شيء يشبه الآلة الحاسبة. في عام 1683 قدم إلى ملك فرنسا لويس الرابع عشر مخطوطة غنية بالزخرفة، سميت تسمية فيها تصنع شديد: «بداية القوة الجديدة للنار، التي اكتشفها الفارس مورلند عام 1682، وقدمها إلى صاحب الجلالة المسيحية».

توافق عمل مورلند زمنيا مع بناء عملاق علم الطاقة المائية للقرن السابع عشر، آلة رفع الماء في مارلي التي مرّ ذكرها، والمعدّة لتأمين الماء لنوافير فرساي، ومن المحتمل أن مورلند الذي رأى المساعي الكثيرة والنتائج القليلة نسبيا للأعمال عند استخدام الدواليب المائية، وصل إلى فكرة عن ضرورة استبدال علم الطاقة المائية بعلم طاقة أكثر شمولية، بالاعتماد على الطاقة المحبوسة في الوقود. اطلع مورلند على أعمال إدوارد سوميرست (التي ذكرت في كتابه)، ولكنه رأى نفسه وحده المكتشف الأول لفكرة استعمال قوة النار.

وفي الواقع ذهب مورلند أبعد من أسلافه في شيء ما. فهو أول من فهم ضرورة تحديد العلاقات الكمية في مسألة استخدام الطاقة الحرارية. ومن هنا العنوان الفرعي لعمله: «رفع الماء بآلات من كل نوع، وتحوله إلى مقياس للثقل وللأوزان». وقد كتب تحت عنوان (بصورة صحيحة) عن تحول الماء إلى بخار، وعرف أرقاما محددة إلى حد ما: «عندما يتحول الماء بالنار إلى بخار، فالبخار يشغل فجأة حجما من الفراغ، أكبر بكثير (بألفي مرة

تقريبا) من ذلك الذي شغله الماء من قبل، وهو سيفجر المدفع بأسرع من أن يبقى فيه. ولكن إذا سيطرنا عليه بقوانين علم الميكانيك وحولناه بالحسابات إلى مقياس للثقل والتوازن، فهو يحمل حملا بهدوء، كما يحمله الحصان الجيد، وينجز عملا مفيدا ....».

بيد أنه، كما عند كل أسلاف مورلند، لم يحتو مؤلفه معلومات عملية ماعدا التأكيدات عن إمكان بناء «الآلة النارية». وعلى كل حال لم يحفظ دليل واحد على صنع الآلة.

إن ما ذكرناه من محاولات لاستعمال قوة البخار لأهداف عملية في جوهرها استندت فقط على خواص البخار في إنشاء ضغط فائض في وعاء مغلق، يعني استخدام الفكرة العائدة حتى إلى هيرون الإسكندري. إن إنشاء شيء ما على أساس هذا المبدأ، عدا المضخة البخارية، كان غير ممكن عمليا بالإضافة إلى أنه قد يحصل على مضخة ضخمة جدا لا هي مريحة ولا اقتصادية. لكن الحاجة إلى آلة ما قادرة على ضخ الماء من المناجم كانت عظيمة لدرجة أنه توجّب إنشاء مثل هذه المضخة.

الفيزيائيون يحاولون أن يساعدوا

في عام 1698 حصل توماس سيفيري، الذي كان عامل منجم ثم أصبح قبطانا لأسطول تجاري، على براءة اختراع لآلة بخارية. وقد عرضها في السنة التالية على أعضاء الهيئة الملكية. ونصت براءة اختراع سيفيري على «اختراع جديد لرفع الماء للحصول على حركة لكل أنواع الإنتاج بمساعدة القوة الدافعة للنار، وله قيمة كبيرة في تجفيف المناجم، وإمداد المدن بالماء، ومن أجل الحصول على القوى الدافعة للمصانع بكل أنواعها، والتي لا تستطيع الحصول على قوة الماء أو عمل الريح المتواصل».

كانت هذه الآلة بتركيبها عمليا، الآلة نفسها التي اقترحها سوميرست ومورلند، باختلاف جوهري واحد، إذ استعمل فيها لأول مرة البخار المكثف بالتبريد. وقد أكد سيفيري نفسه أن هذه الفكرة خطرت بباله عندما حضر لنفسه الغلينتفين الذي يحبه الإنجليز حبا جما. فأثناء وجود دورق النبيذ على النار، قرر القبطان غسل يديه قليلا في طست ماء بارد. فجأة أخذ النبيذ يغلي في الدورق، مهددا بإتلاف لا يصلح لمذاق القبطان الحساس.

ولإنقاذ الغلينتفين قرر سيفيري تبريد النبيذ إلى درجة الحرارة اللازمة، وبما أن طست الماء كان بمتناول يديه، فقد نكس رقبة الدورق. وما حدث، وهو اندفاع الماء في لمح البصر من الطست إلى الدورق، كان مفسدا للغلينتفين. وقد دفع هذا الظرف بالذات سيفيري إلى فكرة مهمة.

قرر أنه إذا ملئ حجم ما مغلق بالبخار، ثم كثف بالتبريد السريع، فإن الماء الذي يجب سحبه سيدخل في هذا الحجم، حيث يمكن بعد ذلك عزله بالضغط الفائض للبخار. انتشرت آلة سيفيري البخارية بعض الانتشار. مع أن مثل هذا المبدأ لعملها كان غير اقتصادي مطلقا. في عام 1702 أصدر كتابا يشير اسمه نفسه - «صديق عامل المنجم» - إلى الهدف الأساسي لآلته.

عمل الكثيرون على تحسين تصميم المضخة البخارية، من بينهم العالم الفرنسي ديزاغوليه أيضا الذي اتهم سيفيري بالانتحال، فقد أكد أن سيفيري اقتبس فكرته من سوميرست. ولإخفاء ذلك اشترى مؤلف المركيز بالجملة وأتلفه. كان ديزاغوليه ذا نفوذ معترف به في بناء المضخات البخارية، فهو الذي أدخل في آلة سيفيري تطويرا ملموسا، إذ اقترح إجراء تكثيف البخار دون سكب الماء البارد على وعاء البخار، وإنما بحقن الماء فيه. عملت آلات ديزاغوليه في فرنسا، وفي هولندا. وقد طلب بطرس الأول منه بالذات آلة لإمداد نوافير الحديقة الصيفية بالماء. فصنعت وركبت في بطرسبرج عام 1717 لتشيع الارتياح في جمهور المستجمين.

ورغم أن الآلات البخارية هي من طراز مضخة معينة فقد انتشرت بعض الانتشار، كان ذلك الطراز نفسه لا مستقبل له. وكان من غير الممكن تكييف المضخات لتشغيل الآلات، ماعدا دخولها في جميع تراكيب الدولاب المائي نفسه، الذي أوصلت المياه إليه بالآلة البخارية. كانت غير اقتصادية للغاية وغير مريحة في الاستخدام. وقد اضطروا لإنزال المضخات إلى داخل المنجم لضخ المياه منه، ولكنها كانت معرضة للانفجار بصورة خطيرة. إذا كان المنجم عميقا، توجب إقامة مجموعة أجهزة كاملة متصلة على التعاقب من مثل هذه الآلات من أجل عزل الماء، ذلك لأن الضغط الجوي سمح برفع الماء إلى ارتفاع محدود فقط. كلا، إن حل مشكلة توليد الطاقة، المرتبطة بالثورة الصناعية لم يكن على هذا الطريق.

لقد أنشئت الأسس العلمية للطريقة الجديدة في منتصف القرن السابع عشر بأعمال توريتشلي، وباسكال، وهيريكه.

في روما عام 1630، تعلم العلوم الرياضية شاب يافع متواضع اسمه إيفانجليست توريتشيلي. كان أستاذه بنيتو كاستيلي البروفسور في علم الرياضيات بجامعة روما، واحدا من أحب تلاميذ غاليليو إليه.

سافر كاستيلي الذي أدهشته مواهب الشاب توريتشيلي إلى غاليليو الذي كان في أرشيوتر وقتئذ، وعرض عليه مخطوطة فتاه تحت الوصاية عن حركة السقوط الحر للأجسام. وطلب من العالم العظيم إلحاق توريتشيلي ببيته تلميذا ومساعدا في تحضير الأبحاث في علم الميكانيك. وقد وافق غاليليو عن طيب خاطر، ولكن لم يطل عملهما المشترك أكثر من ثلاثة أشهر - حتى مات غاليليو - فعين الدوق التوسكاني العظيم توريتشيلي المشترك في الجنازة، في وظيفة رياضي البلاط الشاغرة.

وفي ذلك الوقت تقريبا، وقبل وفاة غاليليو بمدة قصيرة، لجأ إليه طالبا المساعدة في صنع النوافير صانع وجيه آخر هو الدوق الغلوريستي العظيم. تنحصر المساعدة في أنه لم يفلح في جعل النافورة الهائلة التي ابتكرها تعمل، والتي بوساطتها يجب أن يرتفع الماء إلى علو أكثر من خمسة عشر مترا، ثم يندفع بوساطة مجموعة أجهزة متصلة على التعاقب. ولم يرد الماء العنيد أن ينصاع لمآرب الصانع، لشد ما سحبته المضخة، فلم يرتفع إلى أكثر من عشرة أمتار، مع أنه وفقا لقانون أرسطو «الطبيعة تخاف الفراغ»، كان عليه أن يفعل ذلك.

لم يستطع غاليليو أن يفسر ما حصل، ولكنه أشار متظرفا إلى أنه على ما يبدو، لا يتجاوز خوف الطبيعة من الفراغ عشرة أمتار.

وعندما تأمل توريتشيلي تلك الظاهرة، اشتبه هنا بتأثير الهواء الجوي. آنذاك زعم الفيزيائيون، أن الهواء لا وزن له. وقد افترض توريتشيلي، أن ذلك ليس على هذا النحو، بل إن وزن الهواء بالضبط، وضغط عموده الممتد على كل الارتفاع الجوي، يوازن الماء في الأنبوب ولا يسمح له بالارتفاع إلى أكثر من عشرة أمتار إلا قليلا.

ابتكر توريتشيلي لاختبار الفرضية تجربة نموذجية خلدت اسمه ببساطتها ووضوحها. فقد افترض أن الماء إذا كان يرتفع في الأنبوب إلى مسافة

معينة فقط، فإنه إذا وضع في الأنبوب سائل أثقل من الماء، فسيرتفع إلى مسافة أقل من الماء. إن هذا الفرن يجب أن يتوافق مع علاقة الوزن النوعي للماء وللسائل المنتقى. اختار العالم من أجل التجربة أثقل السوائل المعروفة لديه، وهوالزئبق، «الفضة الحية». من السهل تصور ابتهاج توريتشيلي ومساعده فيفياني، عندما توقف الزئبق في الأنبوب، بعد أن اهتز قليلا، على المنسوب الذي تنبأت به بدقة النظرية الجديدة!

استدعى الاكتشاف اهتماما عاما. وفي الوقت نفسه احتدمت فورا مناقشة شديدة بين أنصار النظرية الجديدة وأنصار«الخوف من الفراغ». بليز باسكال الفيزيائي الفرنسي العظيم قرر أن يقوم بالتجربة التي استطاعت إقناع المتشككين بصحة نظرية أرسطو. استدل باسكال عقليا أنه إذا كانت نظرية توريتشيلي صحيحة، فيجب على الزئبق الموجود في الأنبوب على جبل عال، حيث ارتفاع طبقة المحيط الجوي ووزنها أقل منها على سطح الأرض، أن يتوقف على منسوب أقل انخفاضا وإذا كان الواقع أن «الطبيعة تخاف الفراغ» فمسافة الارتفاع يجب أن تكون هي نفسها.

إن التجربة التي أجراها بيرو قريب باسكال في التاسع عشر من ديسمبر عام 1648 على جبل بيوي - دو - دوم، أكدت كليا صحة رأي توريتشيلي. وأصبح باسكال منذ ذلك الزمن من أشد أنصار نظرية الضغط الجوي وأسهم فيها إسهاما كبيرا، وهي التي يمكن استنتاج الإقرار بها على نحو غير مباشر، ولو من «ملحمة الهيكتو الباسكالي» لأعوام 1979 - 1980، في تلك العملية التي حاولت فيها إدارة الأرصاد الجوية المائية عندنا فصلنا عن المليمترات المألوفة لتوريتشيلي لعمود الزئبق، والتي لم تدخل في نظام الوحدات العالمي.

بعد عدة أعوام علم بتجربة توريتشيلي رئيس بلدية ماغدبورغ أوتوفون غريكي، المبدع المجرب الموهوب، والمغرم بالآثار المسرحية. تحدث كيف ظهرت عنده، في لحظة رائعة، رغبة عظيمة في التحقق شخصيا من إمكان تشكل الفراغ. وبعد عدة تجارب اخترع غريكي مضخة هوائية أعجبت تجاربها معاصريه. وكانت أمتع تجربة منها تلك التجربة المنتخبة بأنصاف كرات ماغدبورغ. فقد فرغ أوتوفون غريكي كرة نحاسية من الهواء مؤلفة من نصفين، بمساعدة مضختة الهوائية. شد الضغط الجوي نصفي الكرة

أحدهما إلى الآخر بقوة، بحيث لم يستطع أربعة وعشرون حصانا أن تفصلهما.

نوّع غريكي شكل تجاربه طامحا إلى نتائج جديدة. ففي عام 1654 عرض في رجنسبورغ على المبعوث الإمبراطوري مثل هذه التجربة المؤثرة جدا. بعد أن ثبت غريكي إلى المضخة كرة كبيرة فرغت من الهواء، أغلق الحنفية التي يستطيع الهواء من خلالها الوصول إلى داخل الكرة. كان مكبس المضخة مرفوعا وقد ربط في نهاية حبل مرفوع إلى الأعلى بوساطة بكرة. أمسك بنهاية الحبل عشرون رجلا أقوياء البنية وشدوه. وفجأة فتح غريكي الحنفية، فدخل الهواء إلى الكرة، وفي لمح البصر هبط المكبس بتأثير ضغط الهواء رافعا أولئك الذين حاولوا شد الحبل نصف متر عن الأرض.

استعمل في هذه التجربة الضغط الجوي في نظام «مكبس-أسطوانة» للمرة الأولى. وبهذه الطريقة بالذات وجد حل مسألة إنشاء المحرك العام الجديد. وفي الواقع، اكتسبت الآن مشكلة الحصول على الحركة شكلا معينا تماما، فقد كان من الضروري رفع المكبس بطريقة ما، ثم إنشاء فراغ تحته، ومن ثم يهبط بتأثير الضغط الجوي عليه، عند ذلك يمكن الحصول على عمل مفيد.

سبق أن اقترح أبّات جان غوتفيل الباريسي عام 1678 إنشاء آلة إذا أحرق تحت مكبسها قليل من البارود، رفع الهواء الساخن المتمدد المكبس، ثم يعيد الضغط الجوي المكبس إلى الأسفل بعد أن تبرد الغازات الساخنة. وبعبارة أخرى اقترح أبات المثقف إنشاء محرك احتراق داخلي، هو النموذج الأصلي لمحركات السيارات الحديثة وغيرها، ولكن زمنها آنذاك لم يحن بعد، إذ كانت المسألة معقدة للغاية.

اتضح أن المسألة فوق قدرة معاصر أبات الذائع الصيت، العظيم كريستيان غويغنس العظيم بكثير، وهو مخترع الساعات ذات الرقاص ومؤلف العديد من المكتشفات في الفيزياء. تتألف آلة البارود، بوصفها الذي أدرجه غويغنس في مذكرة أكاديمية العلوم الباريسية، من أسطوانة يوجد في قسمها العلوي صمامان جلديان لإخراج الغازات الساخنة، المتشكلة من احتراق البارود. وعند تبريد الغاز في الأسطوانة تحدث خلخلة فيهبط

المكبس ويرفع عند ذلك حملا ثقيلا. كانت الآلة غير متقنة جدا. وقد سبق لغويغنس أن اصطدم عند صنعها بمشكلة كانت في النتيجة إحدى أعقد المشكلات، وهي كيف يمكن صنع أسطوانة يستطيع بها المكبس أن يتاخم الجدران بإحكام؟.

لم تكن تقنية تجويف السطوح الداخلية قد أعدت إعدادا كاملا بعد. وليتجنب غويغنس التسربات غطى السطح الداخلي للأسطوانة بالجص، الذي لا يتلاءم طبعا وهذه الغاية على الإطلاق. وعند تجربة الآلة في المكتبة الملكية تبين أن الجص قد تفتت، واشتغلت الصمامات بصورة سيئة، وبكلمة، كانت التجربة فاشلة، وتخلى غويغنس مستقبلا عن العمل بالاختراع.

ولعل هذه المحاولة الفاشلة لغويغنس في تاريخ العلم قد نسيت تماما لولا ظرف محدد هو أن مساعدا شابا ساعد غويغنس في عمله بآلة البارود، هو ديني بابن.

ديني بابن - «شهيد العلم»

يمكن تسمية ديني بابن «بالجوّال الأبدي»أيضا، لكثرة ما كانت حياته معقدة، وغنية بالتغيرات وبالأحداث الدرامية. فقد ولد في الثاني والعشرين من أغسطس عام 1647 بمدينة بلوا في فرنسا. وظهرت مواهبه الرياضية منذ طفولته، فنصحه معلمو المدرسة اليسوعية، التي تعلم فيها، بإلحاح بأن يطور نفسه في علم الرياضيات والميكانيك. إلا أن إلحاح أبيه، الذي يمتهن الطب، جعل ديني يتوجه إلى باريس، ليتعلم شيئا في الطب، ولكن المرض والأدوية لم تشغل بال الشاب قط. إنه درس الفيزياء التجريبية والميكانيك التطبيقي برغبة أكبر بكثير. وفي تلك السنين بالذات التقى بغويغنس. ولاحظ الفيزيائي الذائع الصيت موهبة الشاب، فدعاه لمساعدته في المختبر أثناء إجراء التجارب. وقد عاش بابن بعض الوقت في بيت غويغنس.

ظهر عام 1674 مؤلف بابن «التجارب الجديدة على الفراغ ووصف للآلات التي تشكله». وقد تحدثت الأكاديمية عن هذا المؤلف بعطف شديد، واكتسب اسم بابن شهرة في عالم العلماء الفرنسي. لم تذكر في هذا المؤلف بعد آلات توليد الطاقة، ولكن الاستخدامات المختلفة المقترحة للآلات التي تعمل بوساطة الهواء المضغوط مدهشة، وتنوه بفكرة عن المحرك العام.

كتب العالم الشاب عن إمكان حفظ المواد الغذائية المعرضة للتلف وتشريب الأخشاب، وكل ذلك بوساطة جهاز واحد. وقد أعجبت المعاصرين مهارته في الابتداع عند تصميم الآلات أيضا.

اخترع غويغنس في هذا الوقت ساعة بنابض حلزوني، كان من الممكن أن يحملها معه. كانت إنجازا كبيرا، وطلب رئيس الهيئة الملكية من غويغنس إرسال ساعته الرائعة للاطلاع عليها. أراد بابن الذي سيطرت عليه «الرغبة في تغيير الأمكنة» السفر إلى لندن. فلم يكتف بإقناع غويغنس بإرساله إلى هناك فقط، بل طلب إعطاءه توصية أيضا. وافق غويغنس، وفي السابع عشر من يونيو عام 1675 توجه بابن إلى لندن، يحمل معه رسالة توصية من غويغنس، كتب فيها: «بقي عندي سنتين مساعدا في التجارب، كما أنكم الأرجح أنه نشر عملا صغيرا في التجارب على الفراغ، اشتمل على وصف لطريقته الماهرة والعملية جدا في تجميع الآلات أيضا. وقد أراد التعرف على منجزات بلدكم ويريد حتى الاستقرار هناك إذا سنحت له الفرصة».

كانت توصية غويغنس تعني الكثير جدا، واستقبل ديني بابن بحفاوة كبيرة من روبرت بويل المشهور، ومؤسس الهيئة الملكية الذي اقترح على الشاب الفرنسي أن يصبح مساعده.

قام بابن بالاشتراك مع بويل، بدراسة خواص بخار الماء. وسبق لبابن في هذا الوقت، بعد أن اكتشف خاصة الماء في الغليان عند الضغط العالي بدرجة حرارة تتجاوز إلى 100 م العادية بكثير، أن اخترع مرجله المعروف - المسخن. وقد تمكن من إيصال درجة حرارة غليان الماء إلى نقطة انصهار القصدير (إلى 210ْ م تقريبا). ومن الطبيعي أنه تطلب للوصول إلى مثل هذه الدرجات العالية من الحرارة ضغوطا كبيرة أيضا، قد تؤدي إلى تفجير الآلة. اضطر بابن إلى اختراع صمام أمان بسيط للغاية ومتين إلى درجة كافية، لم يحفظ الآلة من الانفجار فحسب، وإنما سمح بتنظيم درجة حرارة غليان الماء بدقة كبيرة أيضا. وقد جلب هذا النجاح لبابن شهرة مدوية، واحتراما ونفوذا. وانتخب عضوا في الهيئة الملكية.

ولكن ظهر من جديد طبعه المحب للتنقل. فقد أضجرت الحياة في إنجلترا بابن، وقبل بسعادة اقتراحا بالانتقال إلى البندقية، حيث أنشئت أكاديمية. وظل بابن في البندقية سنتين، ومع ذلك، ورغم أنه أصبح خلال

هذا الوقت مشهورا في كل إيطاليا، فلم يدخر مالا، وقد احتاج إليه بشدة، فقرر العودة إلى إنجلترا.

استقبل هناك استقبالا بعيدا عن الحفاوة السابقة. فالإنجليز لا يحبون عدم الاستقرار، ولكن بسبب احترامهم لخدمات بابن وافقوا على إعادته لوظيفته في الهيئة الملكية، إنما بمرتب أقل بكثير مما كان عليه. في تلك السنين تملكته فكرة عن المحرك الميكانيكي العام، فقدم للبحث عام 1687 مشروع آلة، مخصصة «لنقل قوة جريان الأنهار إلى مسافات بعيدة»، مشروع خيالي تماما، يعتمد على نقل الفراغ من المضخات التي تعمل بدولاب مائي، وبمجموعة أنابيب طويلة إلى ذلك المكان، حيث الحاجة إلى القوة. وقد خيب فشل المشروع آمال بابن. لم يناسب المخترع المرتب الزهيد الذي حدد له في إنجلترا، وهاهو يطمح من جديد إلى السفر.

بدا للعالم المشهور سابقا أنه من الطبيعي أكثر العودة إلى الوطن، حيث ينتظره لقب أكاديمي ومرتبات مرتفعة. ولكن فرنسا أصبحت في ذلك الزمن كاثوليكية، وكان بابن بروتستانتيا.

قبل بابن اقتراح اللاندغراف(7) الغيسيني كارل بأن يتسلم قسم الرياضيات بجامعة مار جورج. ولم يستهوه تدريس الرياضيات، إنما اهتم بتلك المحاولات التي قام بها عند غويغنس، محاولات تطوير آلة البارود. وقد أوصلته تلك التجارب إلى فكرة مثمرة حقا. وهي أن يستعمل من أجل حركة المكبس لا البارود المتفجر في الأسطوانة، وإنما ظاهرة تكثيف بخار الماء، الذي اطلع على خواصه جيدا لدرجة كافية، عندما عمل بمرجله.

في عام 1690 ظهرت مقالة بابن «الطريقة الجديدة للحصول على قوى دافعة كبيرة بثمن زهيد»، التي عرضت فيها فكرة الآلة البخارية. هكذا وصف بابن اختراعه: «اسكب في الأسطوانة قليلا من الماء، وأنزل فيها المكبس إلى سطح الماء نفسه، وأخرج الهواء المحبوس تحت المكبس من خلال فتحة حنفية خاصة، عندئذ وبتأثير النار الموقدة تحت الأسطوانة، يبدأ الماء بالغليان والتحول إلى بخار، ينتج ضغطا على المكبس ويرفعه، متغلبا على الضغط الجوي. في هذا الوقت يوقف المسند الداخل في التجويف، والمصنوع على قضيب، المكبس في الأعلى، وبعد ذلك تبعد النار، وينشئ البخار المتكثف خلال تبريده فراغا في الأسطوانة. الآلة الآن في

حالة تسمح لها بإنتاج عمل ميكانيكي، لأنه بنزع المسند سيهبط المكبس بقوة مساوية للضغط الجوي. وسيستطيع التغلب على المقاومة بمساعدة حبل وبكرات».

لم يكن لهذا المشروع قيمة عملية، وكان عرضة للانتقاد، ومن نقاده روبرت هوك أيضا، الذي أشار إلى أن الحركة البطيئة للمكبس، وضرورة تحريك النار تحت الأسطوانة جعلت الآلة مستحيلة التحقيق.

من الغريب أن بابن الذي اشتهر بفطنته في التصميم لم يقم بمحاولات لتطوير اختراعه. فضلا عن أن ليبينتس عندما كان في لندن تعرف على آلة سيفيري فأرسل وصفها لبابن الذي سرعان ما تخلى عن فكرته وانشغل بتطوير آلة سيفيري التي لم يكن لها آفاق واسعة. وبنى بابن الآلة العاملة بمبدأ استخدام الضغط الفائض للبخار بأموال الكورفورست(8). وشغلت مجتذبة مجموعة من الفضوليين، ولكنها لم تستخدم استخداما عمليا. وتوقف اللاندغراف عام 1707 عن تمويل أعمال بابن، ووقع المخترع في وضع لا خلاص منه نتيجة الغياب الكامل لجميع وسائل العيش.

سافر من جديد في بداية عام 1708 إلى لندن، ليعرض على الهيئة الملكية نموذجه لآلة سيفيري المعدلة لأجل حركة السفن. جاء في رسالة بابن: «أنا أقترح.. بناء آلة مماثلة لتلك الموجودة في كاسل(9) والمعدلة لأجل حركة السفن، وبالوقت نفسه بناء آلة على مبدأ سيفيري.. فإذا ربحت المسابقة، فقط إذا ربحت، فسأطلب تعويض نفقاتي، ونفقات الوقت والجهد...».

قُرئت الرسالة المعروضة، كما يفترض لكل خبر من عضو، إلا أنها لم تناقش كما يبدو. لقد مات، في ذلك الوقت، أصدقاء بابن وأنصاره، وتعرف عليه العلماء الجدد بوصفه فاشلا، وأما سيفيري نفسه فقد كان عضوا في ذلك الوقت في الهيئة الملكية، ويتمتع بنفوذ كبير. ومنذ ذلك الوقت غاب بابن عن الأنظار، وعاش، وهو المحكوم عليه كما يبدو بأن يعيش حياة معدمة، في فقر مدقع، ولا يعرف التاريخ الدقيق لموته ولا مكان دفنه.

الآلة البخارية بدأت تعمل

أوصلنا تاريخ حياة بابن واختراعه إلى بداية القرن الثامن عشر، القرن

الذي انتصرت فيه الأفكار العديدة لبابن. إن الآلات البخارية التي وفرت طاقة للصناعة النامية نموا عاصفا شغلت مكان الشرف في صف أعظم منجزات الأيدي الإنسانية والعقل. انتهى القرن السابع عشر بإنشاء آلة سيفيري، ورغم أنها لا آفاق واسعة أمامها، فإنها عملت على كل حال بوقود «طبيعي».

كانت آلة سيفيري، في جوهرها، مضخة بخارية. وعاء محكم الإغلاق، ثُبّت فيه أنبوبان: أحدهما لامتصاص الماء الذي يحتاج إليه، والآخر لإبعاده، يتصل هذا الوعاء بمرجل بخاري. يزيح البخار الماء من الوعاء، ثم يصب ماء بارد على الوعاء، ومن جراء ذلك يتكثف البخار، ويتشكل في الوعاء خلخلة، ويمتص إلى داخله ماء جديدا. بعد ذلك تتكرر الدورة. كان الأمر يحتاج إلى وقت فقط لفتح الحنفيات المناسبة ثم إغلاقها.

كانت الآلة صالحة لهدف واحد فقط، وهو رفع الماء. وقد استهلكت كمية ضخمة من الوقود دون أن يزيد المردود على 0,3٪. بيد أن الحاجة إلى سحب المياه من المناجم كانت كبيرة، بحيث حصلت حتى هذه الآلات الضخمة وغير الفعالة على انتشار. وقد نصبت هذه الآلات أساسا في مناطق نيوكاسل[10]، وديفونشير[11]، ودارتموت[12]. وبعد اطلاع الحداد توماس نيكومن على إحدى آلات سيفيري بالذات، والتي أنشئت قرب دارتموت على مناجم القصدير، توصل إلى تطوير المضخة البخارية على نحو مبدئي.

تصور توماس نيوكومن، الذي ورّد أدوات إلى المنجم، بلا شك أهمية مشكلة ضخ المياه. وكان يعرف آلة سفيري أيضا. ويحتمل أن يكون مواطنه ذائع الصيت روبرت هوك قد عرّفه بأعمال بابن أيضا. وعلى كل حال فقد حاول، في آلته التي بناها بالاشتراك مع صانع الزجاج كولي، جمع أفكار سيفيري وبابن. خطرت ببال المخترع فكرة موفقة تتمثل في استعماله الأسطوانة والمكبس الذي اقترحه بابن. غير أن تكثيف البخار لم ينتج بسبب إبعاد النار من تحت الأسطوانة، كما اقترح بابن، بل بسبب تكثيف البخار عند التبريد، كما حدث في آلة سيفيري.

بُني النموذج بسرعة شديدة، وفاق نجاح التجربة كل التوقعات. وتوجب البدء بصنع آلة صناعية حقيقية. وهنا تبين أن براءة الاختراع، الممنوحة لسيفيري، وضعت بمهارة فائقة، إذ كان قد استدرك كل الطرق الممكنة

لاستخدام البخار. لذلك اجتمع نيوكومن وكولي وسيفيري عام 1711، وأنشأوا «شركة مالكي الحقوق في اختراع آلة رفع الماء بوساطة النار». وصنعت عام 1712 آلة بخارية لنيوكومن، شغلت على مناجم في ولفر همبتون[13]. وسرعان ما ساعدت مراقبة عمل هذه الآلة على إجراء تحسين ملموس على تصميمها.

يصف تريفالد السويدي، الذي عني بضبط آلة نيوكومن ما حدث هكذا: « . .. على غير انتظار توصلنا إلى تأثير أكبر من المرغوب فيه، سببته الحادثة الغريبة التالية: تسرب الماء البارد، الجاري ضمن وعاء رصاصي محيط بالأسطوانة، عبر فتحة مغلقة بالقصدير. أذابت حرارة البخار القصدير وبهذه الطريقة فتح الطريق أمام الماء البارد، الذي وصل منه إلى الأسطوانة وببطء تكثف البخار، مشكلا مثل هذا الفراغ.. بحيث قطع الهواء الجوي، الضاغط بقوة هائلة على المكبس، سلسلة الجمل، وحطم المكبس قعر الأسطوانة وغطاء المرجل البخاري الصغير».

وجاء في مصادر أخرى أن الماء وصل إلى الأسطوانة بطريقة أخرى تماما. ومهما يكن من أمر فتكثيف البخار بحقن الماء داخل الأسطوانة كان محققا.

تطوير آخر أيضا لآلة نيوكومن ارتبط بقصة أخرى اشترك بها الفتى الأسطوري همفري بوتير. وينحصر الأمر في أن عمل آلة نيوكومن يتطلب أن يقوم عامل بفتح الصمامات وإغلاقها بالتناوب، لكي يصل البخار إلى الأسطوانة تارة، وتارة أخرى الماء البارد لتكثيف البخار. إن سرعة تأثير هذا العامل ودقته لا تتعلقان بعمل الآلة وحسب، وإنما بسلامتها أيضا، ذلك أن المرجل يمكن أن ينفجر إذا حدث تبديل خاطئ. اشتغل همفري بوتير - كما تقول الأسطورة - بتبديل فتح الصمامات وإغلاقها بالذات، ولكنه للأسف (أو لحسن الحظ؟) كان غير مجتهد على نحو كاف، وبالمقابل كان مخترعا نشيطا للغاية. وحين راقب عمل الآلة لاحظ أنه يجب أن تفتح الصمامات أو تغلق في لحظات محددة بدقة، يفتح الصمام الأول المنظم لتغذية الأسطوانة بالبخار عندما يبدأ المكبس بالارتفاع، وتغلق عندما يصل المكبس إلى النقطة العليا، وبتتابع عكسي يشغل الصمام الثاني. وخطرت فكرة مفادها أن المكبس نفسه قد لا يستطيع أن ينفذ بنجاح ذلك العمل الذي كلف به بوتير. ولجعله يقوم بذلك ربط الفتى الفطن حبالا إلى

الصمامات، وثبت نهايتها الأخرى على الذراع القادمة من الآلة إلى المضخة محددا سلفا على تلك الذراع نقطة التثبيت التي تؤمن العمل الصحيح للصمامات.

إن هذه الحكاية الموعظة، التي وردت في جميع النصوص الإنجليزية تقريبا، لم تخفف مع ذلك آثارا في تاريخ التقنية، الذي يشير بجفاء إلى أن مثل هذا المنظم لم ينشأ في الواقع، ولكن حصل على براءة اختراعه المهندس الماهر جدا هنري بيتون، الذي عمل كثيرا بتطوير آلات نيوكومن.

إن آلة نيوكومن البخارية أكمل بدرجة لا تقاس من آلة سيفيري وأسهل استثمارا بكثير، وأشد اقتصادية وإنتاجية، وقد انتشرت انتشارا واسعا بسرعة كبيرة. فقد عملت آلات نيوكومن في العشرينيات من القرن الثامن عشر لا في وطن المخترع فقط، وإنما في العديد من بلدان أوروبا أيضا-في النمسا، وبلجيكا، وفرنسا، والمجر، والسويد - ولكن أكبر انتشار لها بالطبع كان في إنجلترا. فقد عمل على مناجم القصدير وحدها، إلى عام 1770، سبعون آلة.

استعملت آلات نيوكومن من أجل الإمداد بالماء أيضا. فقد نصبت إحداها مثلا في باريس لضخ المياه من نهر السين. وفي عام 1726 استبدلت الدولاب المائي الذي كان مستخدما في نظام تزويد المياه لمدينة لندن بالآلة البخارية.

ويشهد على الانتشار والتصميم الموفق لآلة نيوكومن أيضا أنه جرى فك آخر آلة من مثل هذا الطراز في إنجلترا عام 1934 فقط! إنه مثال على طول عمر التقنية يحسد عليه في العالم المتغير بهذه الدرجة من السرعة!

كان سيفيري ونيوكومن وكولي أصحاب براءة اختراع «استعمال قوة النار»، وتم عملهم في تحضير الآلة البخارية كله في سرية شديدة. فقد كتب تريفالد الذي ذكرناه: « كان المخترعان نيوكومن وكولي ضنينين وحريصين جدا على أن يحفظا لنفسيهما ولأبنائهما سر بناء اختراعهما واستخدامه. ولم يسمح للسفير الإسباني الذي جاء مع الملك الإنجليزي من لندن في حاشية كبيرة من الأجانب لمشاهدة الاختراع الجديد، بالدخول إلى المكان الذي وجدت فيه الآلات».

ولكن في العشرينيات من القرن الثامن عشر انتهى تأثير براءة الاختراع. فاهتم العديد من المهندسين بتحضير آلات رفع الماء. وظهرت كتب وصفت

فيها آلات نيوكومن وكولي. كان أول تلك الكتب هو كتاب العالم الميكانيكي الألماني ليوبولد مسرح الآلات، الذي وصف فيه بالمناسبة آلة بخارية ذات أسطوانتين.

وبنيت عام 1729 بالقرب من كينغسبرغ آلة بخارية كبيرة لضخ الماء من المنجم عرفت باسم «الآلة المجرية». وقد حصلت على قيمة خاصة في تاريخ الآلات البخارية، لأن وصفها ورد في كتاب برنارد بيليدور «فن العمارة الهيدروليكي»، الذي ترجمه إلى اللغة الروسية ي. أ. شلاتير رئيس لجنة بيرغ. درس بولزونوف هذه الترجمة بالذات وكتاب شلاتير«إرشاد للعمل في الخامات »الذي وصف فيه آلات بخارية أيضا، عندما قام بإعداد فكرة، جديدة تماما في ذلك العصر، لاستخدام الآلة البخارية لا بصفتها رافعة للماء، وإنما لتشغيل آلات مصنع.

لم تستطع آلة نيوكومن أبدا، التي عملت بصورة رائعة بوصفها آلة رافعة للماء، أن ترضي الحاجة الملحة الناشئة إلى المحرك العام. وجرت محاولات عدة لتكييف هذه الآلة لتشغيل آلات، اقترحت مختلف دواليب الموازنة، ونواقل الحركة المعقدة بالمسننات، ولكن لم يحصل شيء من ذلك، فالمضخة التي استعملت قوة البخار، بقيت مضخة فقط.إن الحاجة الماسة إلى المحرك (لأنه حتى في تلك المناجم نفسها، ماعدا الحاجة إلى ضخ الماء، كان من الضروري مثلا رفع الفحم أو الخام إلى السطح) أدت إلى إنشاء تركيب هائل للآلة البخارية بالدولاب المائي التقليدي. في عام 1742 نصبت شركة «ديربي» لصب الزهر، المعروفة في إنجلترا بولعها بالحلول التقنية الجديدة، محرك نيوكومن لنقل الماء إلى عشرة من الدواليب المائية، التي شغلت مختلف الآلات. وفي وقت متأخر رفعوا الفحم بهذه الطريقة في بعض المناجم، إذ ضخت الآلة البخارية الماء من العمق، فغذى بعد ذلك الدولاب المائي الذي حرك بدوره رافعة الفحم. بالطبع كان مثل هذا «المحرك» غير اقتصادي بالمرة، فهو لم يستطع أن يكون قاعدة توليد الطاقة للثورة الصناعية النامية. لقد تطلب الأمر، من حيث المبدأ، حلولا جديدة.

الرجل الذي صنع لوطنه شرفا حقيقيا

.. أول من مضى في طريق إنشاء محرك بخاري هو المخترع العظيم

إيفان إيفانوفيتش بولزونوف، «الرجل الذي صنع لوطنه شرفا حقيقيا»، كما كتب برناولسكي باستور معاصر بولزونوف، وكذلك البروفسور إريك لاكسمان. إن المعلومات عن طفولة المخترع العظيم ضئيلة للغاية. فما يعرف بالتأكيد هو فقط أنه ولد عام 1728 في عائلة الجندي إيفان بولزونوف، الذي خدم في الأورال. وأنهى في السنة العاشرة ما يسمى «بالمدرسة اللفظية» ونقل من أجل التعليم العالي إلى المدرسة الحسابية. ولكنه لم يوفق في إتمام تعليم كامل في هذه المدرسة. ففي عام 1742 احتاج الميكانيكي نيكيتا باخريف العامل في مصنع كاترين بورغ إلى تلاميذ نابهين. وقد وقع الاختيار على إيفان بولزونوف ذي الأربعة عشر عاما، للعمل في المصنع، وعمل على ما يبدو بنجاح. فقد حصل خلال الأعوام الخمسة اللاحقة على زيادة في مرتبه مرتين، وهو ما كان غير عادي بالمرة في ذلك الوقت.

تكفل «التلميذ الميكانيكي» الفتي بأعمال كثيرة. وإليكم ما يدخل في نطاق عمل الميكانيكي كما ذكر في نظام المصانع الأورالية: بناء ومراقبة عمل الآلات الرافعة للماء والخامات في المناجم، وطواحين النشر، إدارة وبناء آلات الإطفاء والأنابيب وصيانة الأبنية السكنية. إن الدراسة النظرية في المدرسة قد أخلت المكان للاطلاع العملي على أحدث الآلات والأجهزة وقتئذ في روسيا، وهي آلات مصنع كاترين بورغ وأجهزته.

من تقنية ذلك الزمن، غابت عن هذا المصنع الآلة الرافعة للماء التي تعمل بالنار فقط - التي لم تكن موجودة في كل روسيا آنذاك. وكان الجهاز الأساسي المشغل لآلات المصنع هو الدولاب المائي نفسه.

قد يكون الشاب بولزونوف فكر في هذه السنين بالذات لأول مرة في محدودية هذا الجهاز الناقل للحركة، وبارتباطه بالطقس الأورالي غير المستقر، وبضخامة الدواليب المائية وخرقها. ولعل تجهيزات القدرة المائية للمصنع والسد الذي يبلغ طوله مئتي متر، وارتفاعه نحو سبعة أمتار، وذي المستودعات الضخمة للماء، الذي دوّر أكثر من خمسين دولابا مائيا قطر بعضها وصل إلى ستة أمتار تقريبا قد انطبعت على ما يبدو في ذاكرته على مدى الحياة. وكثيرا ما تكسرت هذه المنشآت، ويحتمل أن تكون قد سببت لإيفان بولزونوف مشاغل كثيرة. ولكن كان في مصنع كاترين بورغ مثال حقيقي للاستخدام الفريد لطاقة الماء أيضا، وهو تخصيص دولاب مائي

في «محطة توليد طاقة»، تقع خلف جدران ورشة، وتنقل الطاقة إلى العديد من الآلات بوساطة جهاز نقل حركة. هكذا كان يجري تزويد «مصنع الحدادة لعمل الخردوات» بالطاقة، حيث شغل دولاب واحد 24 منفاخا كاملا.

نقل بولزونوف عام 1748 إلى مصانع كوليفانو فوسكريسني في ألتاي. والتي تملكها أسرة القيصر مباشرة. ابتدأت مرحلة جديدة في حياة المخترع العظيم، بإنجاز بناء أول آلة بخارية في روسيا، وحتى في العالم كله، مخصصة لتشغيل وحدات ماكينات المصانع.

اضطر بولزونوف إلى تحمل الكثير من المصاعب في ألتاي، كسوء تنظيم الحياة المعيشية، والمصاعب المادية وأهم شيء، عدم إمكان الاشتغال بأي عمل تعديني. وقد كلفته إدارة المصانع، التي استفادت من مواهبه التنظيمية الفائقة، التي ظهرت كاملة فيما بعد عند بناء «الآلات العاملة بالنار» بأكثر الأعمال تنوعا، من حساب كمية الخام إلى تخزين الحطب.

لم تجلب التقارير العديدة لبولزونوف التي توسلت إعطاءه إمكان الاهتمام بالميكانيك نتيجة ما. إنما رفعوه بين وقت وآخر، وزادوا مرتبه زيادات ضئيلة، ولكنهم استمروا في استخدامه على نحو رئيسي في الأعمال الاقتصادية.

في عام 1762 فقط، وبأمر من رؤساء بولزونوف تم تكليفه واختصاصيين آخرين، بدراسة كتاب شلاتير، الذي وصفت فيه الآلات التي تعمل بالنار، وببعض المعطيات، درس بولزونوف أيضا كتب بيليدور وليو بولد التي ذكرناها. وبالطبع أعطت هذه المنابع معلومات عامة عن تكوين الآلات البخارية فقط ولم تخبرنا شيئا على الإطلاق عن تصنيعها واستثمارها. استخدمت الآلات الموصوفة في الكتب لرفع الماء فقط، ولم يكن فيها حتى كلام عن استخدامات ممكنة أخرى للآلات البخارية. إلا أن دراسة هذه المنابع حفزت بحث المخترع كما يظهر.

قدم بولزونوف في أبريل عام 1763 إلى أ. ي. بوروشين رئيس مصانع كوليفانو فوسكريسني المذكرة التي عرض فيها فكرة «الاستخدام الشامل» للآلات العاملة، بالنار، واقترح تصميم آلة بخارية فريدة تماما.

من خلال الاطلاع على المعلومات، دفع عمق أفكار المخترع وجرأته إلى الدهشة. فلم يضع أحد أبدا قبل بولزونوف، بمثل هذه الصراحة والوضوح، مسألة استخدام الطاقة الجديدة في كل مكان، الطاقة المؤسسة على

استخدام الآلات البخارية: «بطريقة النار لعلم الميكانيك المعروف تنحت السيئات من الحرفة، وبتكوين الآلة النارية قضي على الإدارة المائية وأزيلت تماما من جميع المصانع». عرض بولزونوف في مذكرته، بدقة متناهية، أفكارا فريدة تماما: «أنشئت الآلة العاملة بالنار لقاعدة المصنع المنقولة بهذا الشكل، لتكون قادرة على تحمل جميع الأعباء بنفسها، التي يمكن أن تكون المصانع بحاجة إلى نقلها عادة لحظة إشعال النار بالنفخ، وحسب رغبتنا، لتصليح ما يحتاج إلى تصليح».

ألحق بالمذكرة تصميم مفصل للآلة البخارية، التي اختلفت قبل كل شيء، عن جميع الآلات المعروفة في ذلك الزمن، بأنها مخصصة لتشغيل آلية معينة - هي المنافيخ - وعدا ذلك، كانت وحدة ماكينات مستمرة العمل خلافا لآلة نيوكومن. وقد توصّل إلى الاستمرار في العمل باستخدام الأسطوانتين اللتين ارتفعت مكابسهما وهبطت بالتناوب، محركة محورا واحدا، دون انقطاعات أبدا.

ولد في البلد التصميم المتقدم على كل ما توصل إليه في مجال استخدام البخار، حيثما وجدت الآلة البخارية الرافعة للماء! كتب بولزونوف: «إلى ذلك الذي يملك الشجاعة أولا، لكي يقدم (إذا سمحت طاقته) مجدا لوطنه، ولكي يجلب فائدة لكل الشعب بسعة اطلاعه الكبيرة عن استعمالات الأشياء غير المعروفة تماما حتى اليوم لكي يجعلها مألوفة، مسهلا بذلك عمل الأجيال القادمة بعدنا، ليبلغ المجد والعرفان بالجميل».

نفّذ تصميم آلة بولزونوف، الملحق بالمذكرة، بحذافيره. واستطاع المخترع الذي أتقن بصورة مستقلة النظرية الحرارية المعاصرة له، أن يصمم أجهزة معقدة وأن يختار اختيارا صائبا المواد، التي كان يجب أن تصنع الآلة بها.

في 25 أبريل عام 1763 نظرت إدارة دائرة تعدين كوليفانو فوسكريسيني برئاسة أ. ي. بوروشين في التصميم الذي اقترحه بولزونوف. يجب إعطاء علماء التعدين القائمين على رأس معامل الإمبراطورة ما يستحقون، فقد نجحوا في تقدير الفائدة العظيمة. التي استطاعت الآلة البخارية أن تقدمها إلى الصناعة الروسية. وقد وجدت عند الدائرة طبعا بعض «الشكوك»، فالآلة، جديدة تماما، بيد أنه على كل حال كتب في التقرير: « ... إذا كان فوق الشك المذكور نجاح وتشغيل مباشر ملائم، فليس في أماكن محلية

تماما، بل يمكن قيادتها بفائدة كبيرة في العديد أيضا من المصانع والمعامل والمانيفاكتورات في روسيا، ويمكن تجنب النفقات المعروفة الحالية، وبالذات في بناء السدود على الأنهار التي أنفق عليها تكاليف جسيمة، وحفظها من الخرق ومن العديد من المخاطر الكبيرة...».

أرسل تصميم بولزونوف وقرار الدائرة معا للبحث في بطرسبورغ، وإلى شلاتير نفسه، وهو أكبر اختصاصي بالآلات العاملة بالنار في روسيا. انتظر المخترع بفارغ الصبر حلا لمصيره، وتابع في الوقت نفسه العمل في تصميم الآلة.

بعد تسعة أشهر فقط، أي في 18 يناير 1764 تسلموا في بارناول أمر شلاتير واستنتاجه. لم يدرك رئيس علم التعدين كله حتى النهاية حداثة اقتراح بولزونوف. أما بالنسبة لتصميم الآلة المكونة من أسطوانتين، فكان استنتاج شلاتير صحيحا: «بدلا من أن تكون جميع هذه الآلات الموجودة في العالم متشابهة، وتتألف من أسطوانة واحدة، فإنه قسم تلك الآلات إلى قسمين. واقترح أن تصنع من أسطوانتين، وبالتالي كان يجب عليه أن يبتكر عناصر أخرى من أجل حركة جميع آلاته، غير الموجودة في الآلات المألوفة أيضا، وبذلك نجح نجاحا لا يستهان به». ورأى شلاتير لأجل ذلك فقط، «وجوب حسبان ابتكاره هذا اختراعا جديدا». ولكن الناقد لم يستطع أن يقدر أهم شيء في الاختراع - وهو آلية التدوير المباشرة لنقل الحركة من الآلة إلى وحدات ماكينات المصنع - ولم يصدق أن بولزونوف استطاع أن يبتكر شيئا ما لم يكن له شبيه في كل مكان. اقترح شلاتير بناء الآلة، ولكن على أن تستعمل لتزويد الدواليب المائية بالماء، كما صنع سابقا في إنجلترا.

يا لسخرية التاريخ! فبعد عشرين سنة وبالكلمات نفسها تقريبا أكد نقاد وات، أن نقل الحركة المباشر من الآلة البخارية إلى وحدة الماكينات غير ممكن، والنموذج الوحيد لاستعمال «الآلة العاملة بالنار»، هو رفع الماء. ويمكن فهم حتى أخطاء شلاتير - لأن اقتراح بولزونوف كان جديدا وثوريا للغاية، كما كان اقتراح وات فيما أيضا بعد.

رغم ذلك أنجزت الخطوة الرئيسية، فقد كلف بولزونوف أن يبني آلة حسب تصميمه. أخيرا تحرر المخترع من «وصاية الإحراج»، ومن الرئاسة والإجراءات الكثيرة نوعا ما.. لصناعة الفحم»، فسمحوا له أن ينتقي

مساعدين له وأن يباشر بناء الآلة. جهّز إلى ذلك الوقت تصميم ثان لبولزونوف - تصميم آلة بخارية، تزيد استطاعتها على الأولى بـ 20 مرة تقريبا - من أجل تشغيل مجموعة كاملة من المنافيخ. وقد باشر المخترع العظيم ببناء هذه الآلة أيضا عام 1764.

أرسل إلى بولزونوف أربعة تلاميذ-هم لفزين، وأوفتشينيكوف، وتسرنيتسين، وفياتشينين، وكان عليه لا أن يدرسهم النظرية فقط، وإنما أن يدربهم على النجارة والخراطة وعلى غيرهما من الحرف أيضا.

من الصعب أن تصور لنفسك العقبات التي اضطر بولزونوف أن يذللها عند بناء الآلة. ففي أول الأمر لم يكن تحت تصرفه صنّاع مهرة. ماعدا أولئك التلاميذ، وخصصت إدارة المصنع عاملين متقاعدين لا أكثر أيضا. كان مصنع بارونال الذي بنيت فيه الآلة مصنعا فلزّيا ولا يملك عمليا معدات لمعالجة المعادن، فما بالك بمثل تلك المعدات التي احتيجت لبناء وحدة الماكينات المعقدة جدا.

ومع ذلك فإلى العشرين من مايو 1765، وبطلب من بولزونوف نفسه، جُهّز العديد من الأجزاء الضرورية. «ومهما يكن من أمر فقد جهز من مختلف عناصر هذه الآلة حتى الآن نحو مائة وعشرة أجزاء تقريبا، ماعدا أعمال السبك والخراطة للمرجل وعدّته، إلا أنه بقي فقط إنهاء قليل من أعمال الخراطة والجلخ».

اضطر بولزونوف على ما يظهر لاختراع ثم بناء آلات خاصة ضرورية لم يسبق لها مثيل لمعالجة الوحدات الأساسية. وقد كتب في طلبه: «كل شيء من هذه الأشياء تطلب بعد سبكه من أجل التجميع التناسبي آلة على الدواليب المائية يمكنها أن تقوم بأعمال الخراطة حسب الظروف». ويبدو أن بولزونوف عالج أسطوانات الآلة البخارية على مخارط دقيقة، إذ إنه كتب في تصميمه عن ضرورة التحضير الدقيق لسطوح الأسطوانات: «... أما في الداخل فهي مصقولة بنعومة كالزجاج».

انتهى بناء الآلة في منتصف ديسمبر 1765. وتبين أنه لم تبق عقبات ما لإدخال الآلة في دولاب العمل.

ولكن لم يقدر للمخترع العظيم أن يرى كيف تشغل الآلة المنافيخ الضخمة. ففي الثامن عشر من أبريل عام 1766، كما يشهد تقرير الطبيب باكوف

كيزنيخ «بدأ بولزونوف... ينزف دما بسرعة شديدة من الحنجرة، واستمر وقتا طويلا، ثم توقف، وبعد ذلك حصل ألم شديد ثم شفي منه أيضا». إن ما أضر بصحة المخترع هو العمل الذي لا طاقة له بتحمله، والعقبات التي لا تحصى التي اضطر لتذليلها عند بناء الآلة. وقد توفي بولزونوف في السادس عشر من مايو عام 1766 بمرض السل الرئوي الطيّار.

لكن التجارب بدأت بعد أسبوع. وأشرف عليها تلميذا بولزونوف لفزين وتشزنيتسين. مرت التجارب عمليا دون تعقيدات، فقد كانت كل وحدة من وحدات الآلة مدروسة بمنتهى الدقة، وكانت الأقسام محضرة ومجمعة بمنتهى الجودة. لوحظ عيب وحيد لا يمكن إلا أن يحدث: عرف القليل جدا عن متطلبات الآلة، فقد أراد المحضرون بوسائل بدائية للغاية أن يحصلوا على فعل مضمون بين البخار والماء في الأسطوانة، وكانت السطوح الداخلية للأسطوانات معالجة بصورة غير دقيقة للغاية.

وإليكم ما كتب في 23 مايو في يومية التجارب: «من جراء عدم الدقة في منحنيات السطوح الداخلية للأسطوانات، فنهاية المكابس رغم لفها بالجلد والقنب المضغوطين بنوابض سرعان ما مُسحت وضُغطت. وتسرب الماء من أعلى المكابس إلى الأسفل، فنقص البخار نتيجة لذلك ولم تستطع الآلة أن تنتج بكامل قوتها وأن تعطي الحركة المرجوة للمنافيخ».

أزيلت العيوب بالتدريج، وغيرت الأقسام المعيبة وابتدأ الاستثمار الطبيعي للآلة في أغسطس. ولكن في نوفمبر اكتشف تسرب في المرجل (ربما رأى بولزونوف نفسه أن هذا المرجل صالح لتجريب الآلة فقط وليس لعملها)، وأوقفت وحدة الماكينات. لم يرغب أحد في أن يتعب نفسه بها، فألقيت بعيدا. وفي عام 1780 فُكت تماما.

اتضح أن العمل الذي كرس المخترع العظيم حياته له قد نسي-فلم يكن نظام الرق الإقطاعي الروسي مستعدا للإنتاج الآلي، ولم يؤمن بالقوى الخلاّقة للشعب. وأصبحت آلة بولزونوف غير صالحة، أما في إنجلترا فقد طلبت آلة نيوكومن لخدمة دعائم أحواض السفن.

بعد مرور أكثر من مائة سنة على أعمال بولزونوف، أي في عام 1883، خرج من بطرسبرغ إلى سيبيريا ما يستحق أن نتذكره تماما: «يلاحظ من المعلومات عن تعمير مكامن استخراج الذهب في منطقة المصلحة، أن كلفة

إعالة الخيل هي إحدى التكاليف الرئيسية في استخراج الذهب مثلا، ووفقا للكشف التقديري الحالي فإن إلى 223 ألف روبل المرصودة لهذا الموضوع تكون ربع النفقات العملية تقريبا. وباعتراف مجلس صاحب الجلالة يفيد استبداله البخار بقوة الخيل، حيث توجد احتياطات موثوق بها من الذهب».

كتب ذلك بعد 120 سنة من عرض تصميم بولزونوف لآلته البخارية، بعد 120 سنة من تشغيل الآلة البخارية في ألتاي، ولو لفترة قصيرة! من الصعب إيجاد مثل أوضح منه على الجمود ونزعة المحافظة.

جرى الأمر في إنجلترا على غير ذلك. فهناك وفي بداية القرن الثامن عشر استثمرت في كل مكان آلات نيوكومن البخارية لرفع الماء، وتطور هناك الإنتاج الصناعي، الذي كُبح في غياب قاعدة توليد الطاقة فقط بسرعة؟ فلم يوجد المحرك القادر على تشغيل الآلات العديدة. كتب رجل الأعمال الإنجليزي متيوبولتون، الاسم الذي غدا معروفا بارتباطه بتصنيع الآلات البخارية بالذات: «جن الناس في لندن، ومانشيستر، وبرمنغهام بالطاحونة البخارية».

فقد بني عام 1720 في ضاحية لندن مصنع مجهز تجهيزا جيدا مخصص لتصنيع أقسام الآلات البخارية. وفي مثل هذا الظرف الملائم عمل واحد من ألمع المخترعين في تاريخ التقنية، وهو الإسكتلندي جيمس وات. كتب مؤرخ التقنية الروسي نيقولاي بوجريانوف: «يمكن القول دون مبالغة، إن كل ما كسبه الإنجليز في الهند من القوة والغنى هو أقل قيمة من اكتشاف وات».

حول فائده النزهات

في 19 يناير 1736، وفي عائلة صاحب ورشة لتحضير العدد متوسط الحال، في المدينة الإسكتلندية غرينوك، ولد ابن رابع سمي جيمس تكريما لأبيه. فكل أخوته الكبار ماتوا في طفولة مبكرة. وقد تميز جيمس بصحته الضعيفة للغاية أيضا، وعانى من آلام متكررة في رأسه. ولهذا السبب تخلف عن الدروس في المدرسة الابتدائية المجانية، إذ أدخله أهله وعمره ست سنوات، وقد استطاع الصبي إلى ذلك الوقت القراءة وتعلم الحساب.

ولكنه بإهماله المدرسة لم يتخلف عن أترابه، فقد قرأ كثيرا وحل المسائل. وكان الصبي يحصل على أكبر متعة، عندما يسمح له أبوه أن يصنع شيئا ما، فيداه كانتا ذهبيتين، وحتى ألعابه صنعها وحده وعلى ذوقه.

وكما هو مألوف بعد ذلك، عندما أصبح اسم وات معروفا لكل العالم أخذ الأقرباء، يتذكرون قصصا عائلية، مأثورة نستنتج منها أنهم حتى في ذلك الوقت من الطفولة المبكرة، كانوا يعرفون التخصص العظيم له. جالت الأسطورة عن ذلك من مذكرات إلى مذكرات، كيف استطاع جيمس ذو السنوات العشر النظر ساعات إلى البخار الخارج من فتحة إبريق الشاي الغالي، وكيف حل المسائل الهندسية، مستلقيا على الأرض، وإذا أخذنا هذه الأساطير بمذهب الارتياب والشك المفهوم، لاحظنا على أية حال أن كل أصحاب الشاب وات، تكلموا عن حبه الفائق للمعرفة، وعن سعة اهتماماته، وعن موهبته. والأمراض العديدة التي قهرته منفردة ومجتمعة، ولم تنقص مطلقا من اهتمامه بعلم المعادن وبعلم النبات وبعلمي الفيزياء والطب.

عندما بلغ وات الثامنة عشرة حان أوان التفكير في اختيار مهنة له. اتخذ مجلس شورى العائلة قرارا بجعله ميكانيكيا. فتوجه وات عام 1754 إلى غلاسكو، حيث وجد له بمساعدة عمه، الأستاذ الجامعي، مكان في ورشة بصريات. وانتقل عام 1755 إلى لندن، حيث عين في مؤسسة جون مورغان، التي تصنع الأدوات البحرية. كانت السنة التي أمضاها وات في لندن صعبة جدا. فقد أفلس أبوه في ذلك الوقت تماما ولم يستطع مساعدة ابنه، فاضطر جيمس لأن يبحث لنفسه عن موارد إضافية. تدهورت صحته التي كانت سيئة دون ذلك، من جراء الرطوبة في لندن، واعتل اعتلالا مستمرا. ونصح الأطباء وات بأن يعود إلى الوطن. أقام جيمس بعض الوقت في غرينوك، مع أهله، واستعاد صحته وسرعان ما توجه إلى غلاسكو، لكي يفتح هنالك ورشة صغيرة.

واجه الإخفاق هنا. فالحرفيون المتحدون في ورشة، لا يسمحون للغرباء، بالإقامة في وسطهم راغبين، وأما عن فتح ورشة دون موافقة النقابة فكان أمرا لا يحلم به أحد. يأست المحاولة الفاشلة لإيجاد عمل، بيد أنه أخيرا تيسر له أن يحصل على مكان ميكانيكي في الجامعة، حيث استطاع علاوة على ذلك أن يفتح ورشة صغيرة. وقد وقع تحت تصرف الميكانيكي الشاب

قبو بيت صغير، فسرعان ما باشر فيه تحضير أدوات وأجهزة للتجارب الفيزيائية.

ساعد الحظ وات حقا للمرة الأولى. فقد عمل وقتئذ في جامعة غلاسكو علماء كبار كثيرون، كان من بينهم خاصة، الفيزيائي والكيميائي جوزيف بليك، الذي قام في تلك السنين بدراسة خواص بخار الماء. فقد اكتشف في الماء ما يسمى بالحرارة الخفية للتبخر؟ ذلك المفهوم الذي استعمله وات فيما بعد أثناء عمله في الآلة البخارية. استقبل الميكانيكي الشاب في الجامعة استقبالا جيدا، وقدروا عاليا ملكته في إعداد أعقد الأجهزة، وسرعان ما قدروا سعة معارفه أيضا، وموهبته الفائقة. وأقبل العديد من التلاميذ إلى الورشة مدركين أن الميكانيكي الشاب قادر على أن يساعدهم في صعوباتهم أثناء دراسة العلوم.

صادق وات مصادقة وثيقة خاصة جون روبيسون، الطالب آنذاك، والبروفسور الفيزيائي فيما بعد.

«عندما تعرفت بوات-ذكر روبيسون-كنت لم أزل طالبا، ولكني كنت أعد نفسي متقدما إلى حد ما في دراسة علومي المفضلة؟ علم الميكانيك والفيزياء. ولذلك كنت إلى حد ما مجروحا، وأنا أرى كيف يفوقني هذا العامل الشاب بهذا الصدد. فعندما واجهتنا مصاعب في الجامعة استعنا به، وكان سؤالنا لوات في كل مرة باعثا على دراسة جدية أو اكتشافات. زد على ذلك أنه كان يظهر أحيانا قلة أهمية السؤال المعروض، وأحيانا أخرى كان يوضحه إلى النهاية. فمثلا اضطر ذات يوم إلى التعرف بمؤلف ليو بولد، فلأجل ذلك درس وات اللغة الألمانية، ولسبب مماثل في حالة أخرى تعلم اللغة الإيطالية. إن بساطة النفس الساذجة لمعاملة الميكانيكي الشاب جذبت إليه جميع من عرفه. مع أنني عشت طويلا في العالم، لكني لا أستطيع أن آتي بمثال آخر على مثل هذا التعلق المخلص والمشترك بالإنسان، المتمتع بهذا المقدار من التفوق الأكيد على محيطه. ولم يشر وات إلى هذا التفوق مطلقا بل اعترف من جهته بسهولة بخدمات كل إنسان آخر تعامل معه. وحتى أعجب وات أن يعزو لأصدقائه أفكارا واكتشافات لم تكن في الواقع إلا صدى لأفكاره الخاصة».

واظب وات على تثقيف نفسه بجهد، وصنع الأجهزة المعقدة برضا، وبنى

حتى أرغنا ممتازا. وإلى ذلك الزمن نفسه تعود أولى تجارب وات حول خواص بخار الماء. وبمساعدة مرجل بابن حدد علاقة درجة الحرارة للبخار المشبع بالضغط، وساعد روبيسون في عمله على اختراع المركبة البخارية.

في شتاء عام 1763 لجأ إلى وات أستاذ الفيزياء أندرسون بطلب أن يصلح نموذج آلة نيوكومن، التي احتيجت لقراءة المحاضرات. (قدم بولزونوف في هذه السنة نفسها تصميمه للمحرك البخاري-سنة ذهبية حقا لتاريخ علم الطاقة!).

أقبل وات على تصليح النموذج، وتحقق من أن آليته ناقصة جدا. فقد كان مندهشا قبل كل شيء من الاستهلاك الضخم للوقود، الذي كان مطلوبا لتشغيل النموذج. وبسرعة فهم وات أسباب ذلك. فالماء المصبوب في الأسطوانة لتكثيف البخار، برد الجدران بشدة، وعندما وصلت إلى الأسطوانة كمية جديدة من البخار، ضاع القسم الأكبر منه على استعادة درجة الحرارة. بالإضافة إلى أن الماء المصبوب نفسه تحول جزئيا إلى بخار وزاد الفراغ في الأسطوانة سوءا.

حاول وات في البداية أن يدخل في تصميم النموذج تحسينات ضئيلة. فجعل الأسطوانة خشبية، لكي تنخفض درجة برودتها، غير أن النموذج في هذه الحالة رفض أن يعمل جيدا أيضا.

اضطر أن يباشر التجارب المنتظمة. ففي البداية حدد وات حجم البخار، الذي يتحول إليه الماء عند الغليان. جعل المصدر الوحيد المعروف وقتئذ، وهو كتاب ديزاغولي، هذه النسبة مقدار 14 ألفا. وحصل وات بوساطة أجهزة خاصة مخترعة ومحضرة لأجل هذا المقدار على القيمة 1800، القريبة جدا من القيمة الحقيقية: 1670.

إن هذه الأعمال كلها أخذت من المخترع الشاب وقتا طويلا جدا، ولكنها لم تمنعه في عام 1764 من أن يتزوج من ابنة عمه. وكانت العروس تملك ثروة صغيرة، فاستطاع وات إغلاق المؤسسة في الجامعة والاهتمام ببحوثه فقط، ومع ذلك أعلن عن أنه يقبل طلبيات المسائل الهندسية.

بعد سنة أنجز وات اختراعه العظيم الأول. وكتب بنفسه عن ذلك: «تنزهت مرة يوم الأحد في حقل بالقرب من غلاسكو، ومررت هنالك عبر شارع شارلوت بمغسل قديم. وفكرت بالآلة البخارية وما كدت أمرّ ببيت

هيرد حتى خطرت لي فجأة فكرة أن البخار بوصفه جسما مرنا يمكن أن يتسرب إلى الفراغ المخلخل، إذا تم اتصال بينه وبين الأسطوانة، وسيتكثف البخار في هذا الفراغ المخلخل، دون أن يبرد الأسطوانة.. ولم أكد أصل بنزهتي إلى بيت غولف حتى كان الاقتراح كاملا في رأسي».

هكذا خطرت الفكرة المشهورة عن استعمال مكثف منفصل للبخار ببال وات. يحتمل أنه يجب التفكير طويلا جدا وبعمق جدا بنفس الشيء للحصول بعد ذلك خلال بضع دقائق على مثل هذه النتيجة الرائعة.

كل التصميم الباقي للآلة نتج من هذا الاختراع بطريقة بديهية تماما، فقد باشر وات بعد بضعة أيام صنع نموذج الآلة الجديدة. وأظهرت اختبارات النموذج تفوقه العظيم أمام نموذج نيوكومن. قبل كل شيء، من ناحية استهلاك الوقود، فقد خفض مرات عديدة.

مع ذلك كان أسهل على وات أن يصنع اختراعه المشهور، من أن يقنع أحدا بتمويل صنع نموذج صناعي. ولكن أصدقاءه جمعوه بالطبيب ريبوك. كان ريبوك إنسانا واسع الثقافة، ومالك مصانع غاردينيا الشهيرة، وهي المصانع الأحدث في ذلك الوقت في اسكتلندا. هنا أنتجت مدافع «كارونادي»، وكذلك وحدات الآلات البخارية وأجزاؤها. وكان يملك بالإضافة إلى ذلك مناجم فحم أيضا، كثيرا ما غمرتها المياه، ولذلك لم تكن مشاكل رفع الماء غريبة عن الدكتور ريبوك مطلقا.

أدرك رجل الأعمال قيمة اختراع وات واقترح عليه أن يمول بناء الآلة ذات المكثف المنفصل. وتكفل بجميع النفقات المرتبطة بصنع النموذج التجريبي للآلة ومن أجل الحصول على براءة الاختراع مقابل ثلثي الأرباح المتوقعة.

نجح بناء الآلة الأولى عام 1769، ولكنها لم تكن موفقة تماما، فقد تسرب البخار عن الاتصال غير المتماسك. في الحقيقة نجح وات في الحصول على براءة الاختراع في ذلك العام نفسه.

هنا ابتدأت مرحلة الإخفاقات في حياة وات. فقد ماتت زوجته، وبقي أرمل مع طفلين. وانتظرته صدمة جدية في الأعمال أيضا، فقد أفلس ريبوك. وتوقف العمل بالآلة. فاضطر وات أن يرتزق، والتزم ببناء الجسور والأبنية.

دامت الحال على ما هي عليه حتى عام 1774، عندما تعرف وات على

ميتي بولتون أحد قادة الصناعة الإنجليزية، وصاحب المصنع المجهز تجهيزا حسنا في سوهو بالقرب من برمنغهام، وقد أفلس ريبوك إلى ذلك الوقت تماما، فانتقلت آلة وات مع حق استخدام الاختراع إلى بولتون.

انتقل وات عام 1774 إلى برمنغهام، وأصبح كبير الميكانيكيين في مصنع سوهو. وابتدأت أخصب مرحلة في حياة المخترع العظيم.

بنيت الآلة المسماة «فيلزيفول» بسرعة إلى حد ما، وعملت في عام 1777. وكانت النتائج ممتازة. كان استهلاك الوقود بالمقارنة مع آلات نيوكومن أقل بمرتين. كتب وات لأبيه: «العمل الذي قدمت لأجله إلى هنا، يسير سيرا حسنا إلى حد ما: الآلة النارية التي اخترعتها، شغلت في الوقت الحاضر وأعطت نتائج أحسن بكثير من جميع الآلات المبنية حتى الآن. آمل أن تجلب لي هذه الآلة كثيرا من الخير أيضا».

ابتدأ بناء العديد من الآلات دفعة واحدة، وانهالت الطلبات عليها من كل حدب وصوب، لاسيما أن وات وبولتون ابتكرا طريقة فريدة تماما لجذب أصحاب المناجم. فلم يبيعا آلاتهما، بل أعطوها هبة لكل من أبدى رغبة في وضعها في مصنعه. بالإضافة إلى أنهما أخذا على عاتقهما جميع نفقات تركيب الآلة، وأما آلات نيوكومن الموضوعة سابقا فقد اشترياها بالجملة. كان التعويض الوحيد لهذه النفقات فقرة في العقد لتركيب الآلة تشترط أن يؤول إلى بولتون ووات ثلث المبلغ الموفر سنويا من الوقود.

كان من الصعب الصمود أمام الاقتراح المغري بهذه الدرجة، واستبدلت آلات نيوكومن بسرعة، عندما سمحت إمكانات المصنع في سوهو. مثلا، في عام 1790 استبدل في مناجم كورنويلا 70 آلة من آلات وات بمثيلاتها من آلات نيوكومن.

ولكن سرعان ما أدرك المستهلكون أن الشروط التفضيلية لوضع الآلات تذكر جدا بالقصة المعروفة عن مكافأة مخترع الشطرنج: فقد توجب عليهم أن يسددوا«للمحسنين إليهم»مبالغ ضخمة لقاء الوقود الموفر. وابتدأت الدعاوى القضائية التي لا تنتهي مع أصحاب المناجم الذين رفضوا تنفيذ التزاماتهم. اهتم بولتون بالدعاوى، وأما وات فقد باشر حل مسألة جديدة.

تكلمنا أكثر من مرة عن الحاجة الماسة إلى المحرك العام، وتكلمنا أيضا عن أن آلات أسلاف وات التي لم تكن صالحة للاستعمال بهذه الصفة. ولم

تكن آلة وات الأولى مناسبة لهذا الهدف أيضا، وذلك لأنه من أجل نقل الحركة إلى الآلات لابد من الحركة الدورانية والمستمرة، التي لم تستطع أن تؤمنها: لأن لديها شوطا واحدا للأسطوانة فقط، إلى الأسفل تحت تأثير الضغط الجوي كان شوطا عاملا، والشوط الثاني كان خاملا، إذ ارتفع المكبس بثقل موازن، بقبة التوازن.

في عام 1782 حصل وات على براءة اختراع لآلة يعمل فيها شوطا المكبس. وقد وصف وات هذا الاختراع على هذا النحو: «تحسيني الثاني للآلات البخارية أو النارية يكمن في استعمال القوة المرنة للبخار، لتحريك المكبس إلى الأعلى، وكذلك لدفعه إلى الأسفل بالتناوب، منشئا فراغا فوق المكبس أو تحته في وقت واحد مستعملا تأثير البخار على المكبس في تلك النهاية أو في ذلك الجزء من الأسطوانة، الذي لا يجري فيه انفلات البخار. يمكن أن تعطي الآلة المصممة بهذه الطريقة كمية مضاعفة من العمل أو أن تكتسب استطاعة مضاعفة بالوقت نفسه.. بالمقارنة مع الآلة التي تؤثر فيها القوة الفعالة للبخار على المكبس في اتجاه واحد فقط، إما إلى فوق، وإما إلى تحت». هذه الآلة التي سموها آلة التأثير المزدوج قد كانت محركا بخاريا يعمل دون توقف.

اضطر وات لأن يحل مسألة أعقد بكثير، لكي يحول الحركة المستقيمة الترددية للمكبس إلى حركة دورانية للعمود. ومن أجل هذا الهدف كان يمكن بالطبع استخدام ذراع التدوير (المرفق) المعروف منذ مدة طويلة، والمستخدم على نطاق واسع في المخارط، وفي الأقراص الفخارية، وفي العديد من تصاميم المغازل. كتب وات: «كان استخدام ذراع التدوير (المرفق) للآلة البخارية بالسهولة نفسها للاستفادة من السكين المخصصة لقطع الخبز في قطع الجبن».

ولكن تبين أن امتيازات استخدام ذراع التدوير (المرفق) في الآلة النارية قد حصل عليها شخصان هما فاسبرو وبيكار! اضطر وات أن يبحث عن طرق أخرى. فأنشأ ما يسمى بالآلية الفلكية لوصل المكبس بعتبة التوازن. ووصل النهاية الأخرى لعتبة التوازن بعمود المحرك بمساعدة آلية مدهشة، سميت متوازي الأضلاع لوات. كانت تلك آلية مستوية ذات مفصلات، شكل متوازي الأضلاع فيها قسما من الأذرع. إن الجهاز البسيط المظهر تطلب

من المخترع بديهة هندسية غير عادية. لأن الحل النظري لمسألة الحركة في حلقات متوازي الأضلاع وجده الرياضي العظيم ب. ل. تشبيشيف بعد سبعين سنة.

كان وات نفسه، الذي يبدي رأيه في اختراعاته عامة بتواضع شديد، معجبا بمتوازي الأضلاع: «مع أنني لا أكترث بشهرتي الخاصة، إلا أنني أفخر باختراع متوازي الأضلاع أكثر من أي اختراع أنجزته».

لم يكن متوازي الأضلاع في الحقيقة أكثر من خدعة لنيل الامتياز: فما أن انتهت فترة امتياز فاسبرو وبيكار حتى بدئ في آلات وات البخارية فورا باستخدام آلية المرفق والذراع.

وهكذا إذن أنجزت جميع الاختراعات اللازمة لبناء الآلة البخارية ذات الدوران المستمر، ولم يتأخر أول نموذج لمثل وحدة ماكينات الطاقة هذه عن رؤية النور. وقد دورت الآلة البخارية عام 1782 طاحونة حبوب في كيتل المدينة الإنجليزية الصغيرة. وكانت الآلة مبنية بتصميم وات في مصنع في سوهو. وبعد سنة أو سنتين أنتجت آلات لمصانع البيرة ومصانع تقطير المشروبات الروحية اللندنية. كانت شهرة الآلات الجديدة عظيمة إلى درجة أصبحت معها الطواحين البخارية فجأة مكانا مألوفا للهو الناس من الطبقة العليا«من الدوقة، والسيدات، والسادة»، كما كتب وات نفسه متهكما. وفي عام 1778 شرح وات للملك جورج الثالث والملكة شارلوت كيف تنصب الآلة البخارية وكيف تعمل.

وبدأ عدد الآلات المنشأة على المصانع الإنجليزية يزداد على نحو جامح. وقد أدرك رجال الأعمال فورا جميع فوائد استعمال قوة البخار، وأدركوا أن وسائل الزيادة السريعة لإنتاجية العمل موجودة في أيديهم.

تحررت الصناعة النامية من ضرورة وجودها بالقرب من الأنهار، وأصبح من الممكن الآن تقريب منبع الطاقة من المصنع، وليس العكس، كما في عهد سيطرة الدولاب المائي. وخلال عشر السنوات الأولى بعد اختراع وات، أي من عام 1775 لعام 1785، أقيم في مختلف المؤسسات 66 آلة، وفي عشر السنوات التالية 144 آلة، بالإضافة إلى 47 منها في معامل النسيج. وبعد ربع قرن وجد في إنجلترا وحدها 1500 آلة بخارية حلت محل 180 ألف حصان. كتب الرحالة السويدي سفيد نشيرن، الذي زار إنجلترا عام 1802،

في يوميات مسافر متعجبا: «ليس مبالغة القول إن هذه الآلات قد انتشرت في إنجلترا بالاتساع نفسه وحتى أكثر مما انتشرت عندنا الطواحين المائية والهوائية».

حقا كانت إنجلترا في الأزمنة الموصوفة أكثر بلدان العالم تطورا في الصناعة، فقد عمل ثلثا السكان القادرين على العمل في الصناعة.

آلاف المعامل المجهزة بأحدث آلات ذلك الزمن أنتجت بضائع ممتازة الجودة، وصُهر معدن في عشرات المصانع، حضر منه مختلف المنتجات الممكنة، وأمّنت مئات المناجم العاملة دون توقف الوقود للصناعة وللسكان أيضا. واحتيج من أجل الاتصال بالمستعمرات العديدة إلى سفن سريعة الحركة وإلى سلاح متطور، فبنيت المصانع الجديدة وأحواض بناء السفن الجديدة.

احتاجت الصناعات إلى آلات أشد إنتاجية. وليس مصادفة ظهور الآلات البخارية في إنجلترا بالذات، وانتشارها بسرعة. كل شيء يدل على أن إنجلترا تعيش مرحلة عظيمة، مع أنها مرحلة قاسية في تاريخها أيضا- وهي مرحلة الانقلاب الصناعي الذائع الصيت.

لم ترغب القارة الأوروبية في أن تتخلف عن «ورشة العالم»، كما لقب الإنجليز بلدهم بفخر. وأصبحت الآلات البخارية تصنع في فرنسا وألمانيا، وفي بلجيكا والسويد. وسرعان ما بدأ إنتاج الآلات في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد أنشئت عام 1799 أول آلة بخارية بعد محرك بولزونوف في الأورال بروسيا.

لقد برهنت الآلة البخارية على أنها ذلك الاختراع الفعال للغاية، بحيث لم يكن له أعداء. فوجدت الاستخدام في مختلف المجالات. واستحق مخترعها جيمس وات مجدا عالميا أيضا. وانتخب عام 1784 عضوا في جمعية أدنبرة الملكية، وفي عام 1785 عضوا في جمعية لندن الملكية. وفي عام 1806 منحته جامعة غلاسكو التي بدأ نشاطه فيها لقبا فخريا: دكتور في العلوم الحقوقية. وانتخبت أكاديمية العلوم الباريسية وات عام 1824 واحدا من أعضائها الأجانب الثمانية.

في عام 1800 ابتعد وات عن الأعمال المرتبطة بإنتاج الآلات البخارية، بيد أن همته العلمية لم تفتر قط. فقد حاول أن يدخل إلى إنجلترا النظام

المتري، ودرس تركيب الماء. وبالاشتراك مع الأصدقاء الذين كان بينهم إرازم جد داروين العظيم أنشأ وات جمعية علمية سماها هازلا «الأكاديمية القمرية» (يجتمع أعضاء الجمعية عادة في البدر)، فنوقشت أكثر المسائل العلمية والتقنية الحيوية.

إن آفاق تأملات وات، وسعة معارفه واطلاعه أدهشت جميع من عاشره. ويصف والترسكوت مؤلف الروايات التاريخية الشهير في مقدمة رواية الدير انطباعه عن لقائه بوات الذي كان مسنًّا للغاية. «مازلت حتى الآن كأنني أرى وأسمع كل ما حصل في تلك الأمسية التي لا تستعاد: أصغى وات العجوز بانتباه راض إلى كل الأسئلة وسارع يجيب كل إنسان. وسع عقله ومخيلته الرحبان كل الموضوعات. كان أحد العلماء الحاضرين عالما في اللغة وآدابها: تحدث وات معه عن أصل الرموز الكتابية. وكأنه عاش في زمن كادم. وكان الضيف الآخر ناقدا مشهورا، ولو استمعتم إلى حديث وات إليه، لاعتقدتم أن الأخير درس الاقتصاد السياسي والآداب الرفيعة طوال حياته. ولا حاجة للقول عن العلوم الدقيقة أيضا: فهي اختصاصه. وأخيرا لو استمعتم حديثه إلى مواطننا جيديدايا كليشبوتام، لأقسمتم أنه عاش في زمن كليفرهاوس وبورلي مع المضطِهدين والمضطهَدين، وأنه قادر على أن يحصي كل الرصاصات التي أرسلت إلى الداغونيين الذين يلاحقون الهاربين من البوريتانيين». أمضى المخترع العظيم أيامه الأخيرة في ضيعة صغيرة محاطا بحب المواطنين واحترامهم. ولكنه كان وحيدا تقريبا، فالابن الأكبر فقط من بين أولاده الستة عاش بعد أبيه. وتوفي جيمس وات في 19 أغسطس عام 1819. نُحت على تمثاله في أراضي الدير الكاثوليكي في وستمنستر-مدفن العظماء الإنجليز-نقش: «. .. بعد أن استعمل قوة العبقرية الخلاقة لتطوير الآلة البخارية، زاد إنتاجية بلده، ووسع سيطرة الإنسان على الطبيعة، وشغل مكانا بارزا بين أكثر العلماء الأماجد والأجواد الحقيقيين للإنسانية». لكن أفضل تذكار لوات هو آلته البخارية التي دوّرت الماكينات والمضخات، ورفعت الأحمال الثقيلة في مختلف المدن والبلدان.

النار والبخار والدواليب

باختراع الآلة البخارية تعلم الإنسان أن يحول الحرارة الكامنة في الفحم

والشجرة والفحم النباتي إلى حركة وعمل. وهو عمليا وضع في خدمته الشمس نفسها بطاقتها التي تفيض على الأرض بسيل مستمر، المركزة في الوقود. وبدت الإنسانية الآن قادرة على أن تضع أمامها دون تردد تقريبا مسألة من أين تأخذ القوة الكافية لكي تحقق أجرأ المشاريع. لقد كانت الآلة البخارية إحدى النوادر في تاريخ الاختراعات، التي غيرت لون العالم تغييرا حادا، وأحدثت ثورة في الصناعة، ووسائل النقل، ومكنت من بناء القنوات والتجهيزات الضخمة، وقدمت دفعة لانطلاقة جديدة للمعرفة العلمية. وغيّر هذا الاختراع المجتمع نفسه والعلاقات الاجتماعية فيه أيضا، فكان بنفسه رمزا للثورة الصناعية، وكان بادرة للثورات الاجتماعية.

لكأن اختراع وات هذا قد توج أعمال المهندسين والميكانيكيين خلال قرون عديدة في مختلف البلدان، تلك الأعمال التي سعت إلى لجم قوة البخار الجبارة ووضعها في خدمة الإنسان.

تنوعت محاولات المخترعين للقبض على ناصية الشكل الجديد للطاقة، وكانت إسهاماتهم في إيجاد الحل النهائي للمشكلات الناشئة لا تحصى. بيد أن كلا منهم حفز أبحاث الحل، واستدعى المؤيدين، وربّى التلاميذ، الذين تابعوا عمل أساتذتهم. وحتى هذه القائمة غير الكاملة أبدا للمخترعين: بلاسكودي غاراي الإسباني، وبرانكا الإيطالي، وسولومون دي كو الفرنسي، وبولزونوف الروسي، وسوميرست وسيفيري ونيوكومن الإنجليز، تدل على أن المحاولات لاستخدام قوة البخار قد جرت في كل مكان. وليس مصادفة ما كتبه أنجلز عن أن «الآلة البخارية كانت أول اختراع أممي حقا...».

بيد أن النشاط الأممي للمخترع لم يكن مرئيا في العملية الارتقائية وحدها. إنه يتكون بدرجة أكبر أيضا في الاعتراف بالاختراع في كل مكان، وفي توزيعه المندفع في كل الكرة الأرضية، ضمن تلك المصلحة الاجتماعية التي ظهرت هنا وهناك. ولم يستطع أ. س. بوشكين، وهو أحد أبرز المفكرين في ذلك العصر، أن يتجاهل ظهور الآلات البخارية. فقليلون نسبيا أولئك الذين يعرفون أن بوشكين عزم على أن يخصص مكانا لائقا في مجلته «المعاصر» التي يصدرها لنشر معلومات علمية بين الجماهير. فقد ظهرت في المجلد الثالث للمجلة (التي صدر منها ما مجموعه خمسة مجلدات، وصدر الأخير منها بعد وفاة الشاعر بقليل) مقالة «عن الأمل»، عرضت

نظرية الاحتمالات عرضا مبسطا. كان مؤلف المقالة الأمير بطرس بوريسوفيتش كوزلوفسكي، أحد العاملين في مجلة المعاصر مروجا لامعا للمعلومات بين الجماهير. وقد كتب عنه بوشكين في رسالته إلى ب. ي. تشاءادايف: «لو أراد كوزلوفسكي بحزم أن يصبح أديبا لصار تكرارا لي». وقد طلب بوشكين منه بالذات مقالة عن الآلات البخارية ظهرت في المجلد الخامس من مجلة «المعاصر» تحت عنوان «نبذة عن نظرية الآلات البخارية». وقد كتب المؤلف في مقدمة هذه المقالة التي رأت النور بعد موت الشاعر العظيم: «... كانت إحدى الرغبات الأخيرة للفقيد تنفيذ وعدي: أن أنشر في (المعاصر) مقالة عن نظرية الآلات البخارية معروضة بطريقتي الخاصة. مازال من الممكن معارضة إرادة الأحياء، ولكن صوت ما بعد الموت يملك شيئا ما آمراً لا يستطيع القلب النادم إلا أن يذعن له».

أحدثت الآلات البخارية تغييرات هائلة في مختلف مجالات التقنية.

وبالطبع جرت قبل كل شيء تغييرات ضخمة في صناعة إنشاء الآلات نفسها. نشأ فرع الصناعة هذا، عمليا، مرتبطا من جديد بضرورة صنع الآلات البخارية. واحتيجت هذه الآلات أكثر فأكثر، فدفعت لابتكار ماكينات جديدة أكثر إنتاجية، ولم تكف هذه الماكينات دائما أيضا. كان مطلوبا أن تزداد الدقة في تحضير أجزاء الآلات البخارية، وازداد تطور الماكينات أيضا. ازداد استخراج المعدن ازديادا كبيرا، فأزاح الخشب كليا من تصميم الآلات، ونما استخراج الفحم اللازم لصهر المعدن. واندفعت قوة البخار لمساعدة الإنسان في كل مكان.

نشأت بالتأكيد مشاكل جديدة أيضا: فقد احتيج الآن إلى إيصال كميات ضخمة من المعدن والفحم والآلات إلى مكان التصنيع المقبل. وأصبح النقل عائقا أمام الصناعة النامية. وتوجهت أنظار المخترعين إلى البخار مرة أخرى. فلم تصلح الآلات البخارية التي صممها وات من أجل النقل. إذ كانت كبيرة الحجم، وتستهلك كثيرا جدا من الماء لتبريد المكثف، وتتطلب لأجل عملها حجما كبيرا من البخار. فقد كانت ما تسمى بآلات الضغط المنخفض، والتي وصل البخار بوساطتها إلى الأسطوانة أعلى ببضع نسب مئوية من الضغط الجوي فحسب، واستعملت عمليا لتشكيل الفراغ في الأسطوانة فقط.

ولأجل النقل لزمت آلات يتحرك المكبس فيها ليس على حساب الضغط الجوي، بل بقوة البخار. وفي عام 1802 بوشر صنع مثل هذه الآلات بالذات في الولايات المتحدة الأمريكية بقيادة المخترع أوليفر إفانس.

ولد إفانس عام 1775 في فيلادلفيا. وكأغلبية المخترعين الآخرين، لم يستطع أن يحصل على تعليم منتظم في الطفولة، مع أنه أظهر مواهب فائقة. ففي عام 1797 اخترع آلتين لصنع الفراشي، استعملتا بأعداد كبيرة في صناعة النسيج.

وعندما وقع بين يديه الكتاب الذي وصفت فيه آلات الضغط، كان مندهشا للغاية - كما قال - من أن مخترعي الآلة البخارية استعملوا البخار فقط للحصول على الفراغ، مهملين قوة البخار المضغوط الهائلة. تذكر: «ذات مساء، عشية رأس سنة 1792 الجديدة، وكنت ما أزال أدرس، حدثني أحد إخوتي الصغار، أنه تسلى طيلة اليوم مع أولاد الجار الميكانيكي (البرّاد) بإنتاج ضرب النار على شرف العام الجديد. ولأجل ذلك أخذوا سبطانة بندقية، وسكبوا فيها قليلا من الماء، وبشموها وثبتوها على النار، ونتيجة ذلك أطلقت البندقية فرقعة تشبه طلقة مدفع محشو بالبارود. عندئذ صحتُ: «هاهي القوة المحركة، التي بحثت عنها طويلا! ويجب الآن ابتكار طريقة لتطبيقها فقط».

بحث إفانس عن طريقة تطبيقها سنين عديدة أيضا، حتى بنى عام 1801 أول نموذج عامل للآلة البخارية، ذات الضغط العالي. وحصل على براءة اختراعها عام 1802، وسرعان ما بدأت مصانع ضخمة تصنع تلك الآلات لحساب إفانس في فيلادلفيا، وبيتسبورغ، وبنسلفانيا. واخترع تريفيتيك في الوقت نفسه تقريبا الآلات البخارية ذات الضغط العالي في إنجلترا أيضا.

كانت آلات الضغط العالي أصغر بكثير وأخف من آلات وات، وأمكن استعمالها لحل مشكلات النقل. وفي الحقيقة تطلبت آلات الضغط العالي مراجل وأسطوانات أمتن وأدق بكثير. إلا أن ذلك كان مشكلة قديمة: فقد تطورت صناعة إنشاء الآلات في بداية القرن التاسع عشر إلى درجة كافية، وكانت قادرة على تلبية المتطلبات الجديدة.

... إن محاولات استخدام قوة البخار لأهداف النقل جرت منذ زمن

طويل. نذكر هنا مثلا، اقتراح نيوتن بإنشاء مركبة نفاثة بخارية وبعد مائة عام، أي في عام 1763، أنشأ الفرنسي ن. ج. كونو مركبة بخارية لنقل قذائف المدفعية. إن آلة كونو لم تستطع التحرك أكثر من 12 - 15 دقيقة، ثم توقفت مثل هذا الوقت لإعادة تزويدها بمخزونات الماء والفحم. وبعد ست سنوات بنى المهندس الفرنسي مركبة أكثر تطورا كما يبدو، ولكن سرعان ما تبين أنها غير مجردة من السيئات؟ فعمليا لم يكن بالإمكان توجيهها. وعندما ساقوا العربة في شوارع باريس لم تتحرك إلى تلك الجهة التي أرادها المخترع أبدا، بل اندفعت إلى الحائط وهدمت البيت. وكان من نتيجة هذه التجربة أن المتضررين لم يكونوا راضين، وطالبوا بالتعويض عن الأضرار التي لحقت بهم، ومنعت السلطات إجراء تطويرات جديدة على المركبة الخطرة. إلا أن الحاجة إلى وسائل نقل جديدة كانت ماسة لدرجة استمر معها مخترعون آخرون في محاولات لتصميم مركبة بخارية. وقد بنى إفانس، المتقدم ذكره، في أمريكا ما يشبه القاطرة البخارية. ولم تكن متقنة حتى إنها لم تستطع التحرك من مكانها. وبدأ وليم ميردوك بتجارب على المركبة البخارية وبعد سنتين أنشأ طرازا عاملا بثلاثة دواليب. ولم يفلح عمليا في صنع نموذج صالح.

سعى هؤلاء المخترعون جميعا إلى صنع مركبة تقوم فيها الآلة البخارية مقام الحصان، أي ببساطة عربة نقل بخارية. لقد كان ذلك تدبيرا ذا آفاق ضيقة كما هو واضح اليوم: فالنوعية الجديدة تحتاج إلى حلول تقنية جديدة أيضا. ولم توصل محاولات حشر الآلة البخارية ببساطة في مخطط العربة الحصانية القديمة المعروفة منذ آلاف السنين، إلى شيء. وقد أسر المخطط السابق بعض المخترعين إلى درجة أنهم حاولوا استخدام آلية تقلد حركة قوائم الحصان! صنع مثل هذه الآلة عام 1813 برونتون الإنجليزي. وأنشأ دافيد غوردون عام 1824مركبة بخارية بثلاثة دواليب. تدحرجت الدواليب ببساطة على الطريق، الذي اندفعت منه المركبة ذات القوائم الميكانيكية.

وبكلمة، كانت الحاجة العملية إلى العربات البخارية ماسة، وعملت في إنجلترا فقط إلى الثلاثينيات من القرن الماضي نحو مائة ناقلة بخارية من تصميم غورتي، وهينكوك وغيرهما. من الممكن أن يكون عمل المخترعين الذي استمر عدة سنوات قد أدى عمليا إلى إنشاء عربات بخارية صالحة،

لو لم توجد على طريق تطورها وتحسينها عقبة ملموسة واحدة، وهي الحالة المروعة للطرقات والتي كان عليها أن تتنقل فيها!

كانت الطرق البرية التي ورثها العصر الجديد من القرون الوسطى، عمليا لا تجتازها مركبة. في إنجلترا نفسها مثلا كان الوضع على هذا الشكل، فعربات النقل المحملة بالغزل لم تستطع أن تجتاز المسافة من مانشستر إلى ليفربول، فاضطروا إلى نقل البضائع على خيول النقل. وبسبب صعوبات النقل لم يكن للفحم المستخرج بعيدا عن الأنهار أو الشواطئ قيمة ما. ففي النمسا تجاوزت أجور النقل ثمن البضاعة المنقولة نفسها. وفي ألمانيا رافق الخدم ذوو الصخب والرفوش عربات النقل الكبيرة: خلافا لذلك لم يكن ممكنا اجتياز الطرف في ذلك الوقت.

كان أحسن الطرق البرية في روسيا طريق بطرسبورغ العام. ولكن هاكم العبارات التي وصف بها حالته أ. س. بوشكين الذي كان مسافرا من موسكو إلى بطرسبورغ: كانت رحلتنا غير موفقة، فقد تطلبت العربة اللعينة إصلاحات في كل دقيقة. ظلمني الحدّادون، وأنهكتني تماما الحفر والقناطر الخشبية الموجودة في بعض الأماكن. وقد انجررت ستة أيام كاملة في طريق لا يطاق ووصلت إلى بطرسبورغ شبه ميت.

وبالطبع تطورت الطرق مع الزمن، وبنيت طرق جديدة بتغطيات أفضل، غير أنها كانت غير صالحة لنوع غير عادي من وسائل النقل، الأثقل والأسرع بكثير. وأخيرا وعند ذلك بالضبط لجأ مخترعو المركبات إلى نوع آخر من الطرقات، إلى السكك التي استعملت فترة طويلة إلى حد ما في المشاريع الجبلية. مثل هذه الطرقات كانت في بداية الأمر بسكك خشبية، ومنذ بداية القرن التاسع عشر بسكك حديدية في بلدان مختلفة: في إنجلترا، وفي ألمانيا، وفي روسيا. في بادئ الأمر نقلت بوساطتها أحمال على عربات جر بقوة الحصان داخل المصانع، ثم أخذوا يبنون «سكك الخيل» المعروفة للجميع، والتي استعملت أول سكة منها لنقل المسافرين بين كريدون وندسفورت على مسافة أربعين كيلومترا تقريبا. وفي روسيا أعد بطرس كوزميتش فرولوف، ابن باني الآلات العاملة بطاقة الماء المشهور على الأورال، تصميما لسكة خيل حديدية طولها 150 كيلومترا، ولم يقدر لهذا المشروع أن يتحقق.

لقد تبين أن تكيف الآلة البخارية مع حركة العربة التي تجري على السكك الحديدية أسهل بما لا يقاس. ولم تنشأ مشاكل تتعلق بعدم استواء الطريق، وبالوعورة والحفر، وانخفضت ضياعات الاحتكاك.

تعود التجربة الناجحة الأولى لبناء القاطرة البخارية إلى ر. تريفيتيك الإنجليزي. فقد انطلق من المحرك البخاري أيضا فأنشأ ثلاثة نماذج قادرة على العمل إلى حد معين. إلا أنه قدر بسرعة تفوق الخط الحديدي، وباشر تصميم القاطرة البخارية. كان فضل تريفيتيك الكبير يتمثل في أنه شغل بجرأة آلته ذات الدواليب الملس على السكك الملساء نفسها. وكان الزعم قبلئذ أن ذلك أمر غير ممكن نتيجة الاحتكاك غير الكافي. فعند أغلبية المخترعين اتصل الدولاب المسنن اتصالا مزدوجا.

جرت التجارب العلنية لقاطرة تريفيتيك عام 1803. فنقلت الآلة عشرة أطنان من الحديد أو سبعين مسافرا نحو عشرة كيلومترات في الساعة. كان ذلك نجاحا كبيرا. فنشرت جرائد ذلك الزمن، غير المكترثة غالبا بالمسائل التقنية، الأصداء الحماسية لهذه الواقعة. ولكن في عام 1808، عندما قام تريفيتيك بعرض مشوق لطريق دائري، بهدف الترويج لاختراعه بين جماهير لندن، استطاع جميع الراغبين أن يتنزهوا في قاطرة بخارية بسرعة بلغت نحو 30 كيلومترا في الساعة. وفي الحقيقة بدا هذا العرض المشوق لتريفيتيك غير مريح بسبب تكسر القاطرة البخارية. واضطر لإيقاف العمل في تطوير اختراعه واشتغل بتصميم المحرك البخاري ذي الضغط العالي، الذي أمكن استخدامه في درس الحبوب وحصادها وطحنها.

في ذلك الوقت بالذات تعلم وقاد الآلات البخارية الشاب جورج ستيفنسون القراءة والكتابة في مدرسة مسائية مأجورة في أحد المناجم بالقرب من نيوكاسل. ابتدأت حياته بصعوبة بالغة. فقد خدم أبوه في منجم وقّاداً لمضخة، وماتت أمه عندما كان في الثالثة من عمره فقط. ولم يحصل على تعليم، وحالما كبر قليلا قام فورا يساعد أباه.

بعد ذلك عمل في المناجم، خبيرا باستعمال مختلف الآليات ومحاولات إدراكها بالتفصيل. وسرعان ما أصبح ميكانيكيا مختصا معترفا به واهتم بوسائل النقل البخارية. جرّب جورج عام 1814 عندما كان عمره 33 سنة، قاطرته البخارية الأولى، التي حملت ما زنته 30 طنا بسرعة نحو ستة

كيلومترات في الساعة. واتضح أن تصميم القاطرة البخارية غير ناجح، بيد أن ستيفنسون لم يكن يملك مالا لمتابعة التجارب.

أسعفته فرصة. فقد جرت في إنجلترا في هذا الوقت بالضبط مسابقة لأحسن تصميم لمصباح أمين لعامل المنجم، لا يتسبب في تفجير الغاز في المنجم. شارك ستيفنسون في المسابقة. وعرض العالم المشهور همفري ديفي أيضا تصميمه للمصباح الأمين. وقد اتضح أن التصميمين، اللذين كان أحدهما ثمرة تفكير نظري والآخر نتيجة لبضعة أسابيع من التجارب. متكافئان عمليا، وقررت هيئة التحكيم المنصفة أن تسجل الجائزة الأولى للمصباحين. وفي الحقيقة سُلم ديفي جائزة ألفي جنيه إسترليني، ولكن الميكانيكي المجهول لم يُسلم إلا مائة فقط. وقد رأى مواطنو ستيفنسون أن مثل هذا القرار من هيئة التحكيم غير عادل. فقاموا باكتتاب جمعوا فيه ألف جنيه إسترليني وسلموها إلى المخترع أثناء الغداء العلني.

أخيرا أصبح الآن عند ستيفنسون أموال لمتابعة أعماله بتحسين تصميم القاطرة البخارية. فبنى عام 1825 ست عشرة قاطرة بخارية، وأصبح شخصية ذات نفوذ ومعترفا به في هذا المجالس. وأشرف في العام نفسه على بناء الخط الحديدي بين ستوكتون ودارلينغتون، الذي بنى من أجله قاطرة بخارية بتصميم جديد.

في ذلك الوقت أصبح روبرت جورج ستيفنسون مساعدا رئيسيا لأبيه. وفي الحقيقة يستحيل التفريق بين إسهام الأب والابن في تصميم القاطرات البخارية: فالفطنة العملية للأب اكتملت بنجاح بالثقافة الرائعة للابن. كان العقد المقبل الضخم الذي نفذه الأب والابن من عائلة ستيفنسون هو بناء أطول خط حديدي في ذلك الوقت: خط مانشستر - ليفربول بطول 45 كم. اضطر ستيفنسون في عملية البناء إلى أن يثبت تفوق جر القاطرة البخارية من جديد، إذ ظهر اقتراح منافس، وهو استعمال 21 آلة بخارية ثابتة عليها أن تجر القطارات بحباله. انتصرت القاطرة البخارية ولكن من أجل اختيار منافسة القاطرة أجريت مسابقة، هي بطولة المهندسين الحقيقية. كانت شروط المسابقة قاسية جدا، فقد وضعت شروط تتعلق بثمن القاطرة البخارية، وضغط البخار في المرجل، وعدد الدواليب، ووزن الحمولة ومتغيرات (بارومترات) كثيرة أخرى.

جرت المسابقات غير العادية في أكتوبر من عام 1829 في بلدة رينهيل قرب ليفربول. وأعلن اشتراك خمس قاطرات بخارية فيها، إلا أن الحكام اليقظين حرموا إحداها من الاشتراك في المسابقات، لأنهم عثروا على حصان مخبأ داخل ألواح التغطية، قام بتحريك الدولاب بوساطة دواسات خاصة. بقيت أربع قاطرات بخارية لها، بالمناسبة مثل السفن، أسماء خاصة: «البدعة» للمصممين برايتفايت وإيريكسون من لندن، و«الفريدة» لفاكسفورت من دارلينغتون، والعناد لبورشتيل من إدينبرغ، و «الصاروخ» لعائلة ستيفنسون من نيوكاسل. وقد خيب أمل القاطرة البخارية المسماة اسما أبيا «الفريدة» صدع في المرجل البخاري الذي صنع، بالمناسبة في مصنع عائلة ستيفنسون، ولذلك تنافس في الواقع ثلاثة تصاميم فقط. وقد أحز الانتصار «الصاروخ» لعائلة ستيفنسون، الذي اجتاز بسلامة كل مسافة السباق الممتدة على طول نحو ثلاثة كيلومترات، بسرعة بلغت أربعة وأربعين كيلومترا في الساعة.

بعد أحد عشر شهرا حسب البرنامج أوصل «الصاروخ» أول قطار مسافرين على الخط الجديد الممتد بين ليفربول ومانشستر.

وقد اتضح أن روسيا كانت أحد أول البلدان التي ظهرت فيها القاطرات البخارية. إذ بنى الأب يفيم ألكسييفتش تشيريبانوف وابنه ميرون يفيموفيتش تشيريبانوف عام 1834 في مصانع نيجني تاغل خطا حديديا تجره قوة البخار. وسبق بناء هذا الخط صنع آلات بخارية قام بها تشيريبانوف لصالح مصانع ديميدوف. وقد بني عام 1820 نموذج عامل للآلة البخارية بجهد الميكانيكي بالفطرة يفيم تشيريبانوف وجده في نيجني تاغل. وعندما علم بذلك ديميدوف أمر بسرعة بإرسال الميكانيكي إلى إنجلترا. قضى تشيريبانوف هناك نحو نصف سنة.، متعرفا على عمل آلات وات البخارية. أشار وكيل ديميدوف في إنجلترا إدوارد سبينس في رسالة لصاحبه: «تشيريبانوف، صاحب المواهب النادرة في علم الميكانيك التي تطورت دون شك تطورا محسوسا ونضجت بفضل الملاحظات التي أدلى بها في بلدنا».

بدأ تشيريبانوف وابنه ببناء الآلات البخارية بعد رجوعه إلى الأورال فورا. وحتى بداية الثلاثينيات صنعا أربع آلات. وكما أشير في الأمر «عن منح ميدالية لراعي المصنع تشيريبانوف»، «تمتاز هذه الآلات بأكثر التصاميم ملاءمة، وأقلها تعقيدا، ولها تسوية خارجية رائعة وتعمل بسهولة، وبنجاح

كامل، مستهلكة في زمن محدد وقودا ومواد أقل بما لا يقاس من تلك التي بناها سابقا في الأورال العالم الميكانيكي ميجور».

وعند بناء الآلات البخارية أدت التجربة المكتسبة خدمة حسنة لآل تشيريبانوف، فقاطرتهما البخارية الأولى التي نقلت المواد الخام على أرض المصنع بوساطة «خط خاص من حديد الزهر»، اكتسبت سعة 15 كيلومترا في الساعة، ناقلة بذلك ثلاثة أطنان ونصف الطن من الحمولة المفيدة. وكانت قاطرتهما الثانية أقوى بكثير، إذ نقلت 17 طنا.

أخذت السكك الحديدية وقاطرات الجر البخارية تنتشر في كل أنحاء العالم. بيد أن الأمر العجيب يتمثل في أنه إذا انتشرت الآلات البخارية بسرعة شديدة عمليا، دون أن تواجه مقاومة فإن مد السكك الحديدية قد واجه مقاومة من خصوم أقوياء للغاية. فقد قام مالكو القنوات، والسفن، ووسائل النقل الأخرى، بجميع الوسائل بعرقلة تطور المنافس. وعلى سبيل المثال منع البرلمان في البداية بناء السكة الحديدية بين ليفربول ومانشستر، ولم يحصل على تصريح إلا بعد سنة، عندما خصص لمالكي قناة بريد بوتير ألف سهم من سعر السكة الحديدية العتيدة.

خوّف محررو الجرائد القراء بالفظائع، التي كأن السكك الحديدية كانت مسؤولة عنها. وإليكم ما كتب على سبيل المثال: «ستمنع السكك الحديدية الأبقار من أن تسرح، والدجاج من أن يبيض، وسيقتل الهواء المسمم الذي تنفثه القاطرة الطيور فوقه، وسيصبح من المستحيل الحفاظ على الدُرّاج والثعالب. وستحترق كليا البيوت على طرفي السكة بسبب الشرر المتطاير من فرن القاطرة البخارية. وستفقد الخيول أهميتها، وسيفقد الشوفان والدريس المجفف ثمنهما. إن الرحلة بالسكة الحديدية خطرة للغاية، فالقاطرات البخارية قد تنفجر، وسيتمزق الركاب إلى أشلاء». وحينما افتتحت في روسيا أول سكة حديدية للركاب بين بطرسبورغ - القرية القيصرية - وبافلوفسك، كتب أحد أعدائها، وزير المالية كانكرين: «السكك الحديدية أكثر من كماليات بكثير، وهي في حقيقة الأمر بليّة أكثر منها مبرّة».

ساند المفكرون الطليعيون لذلك الزمن فكرة بناء السكك الحديدية. وجاءت مبادرة فضح أعداء التقدم من الكاتب ف. ف. أودويفسكي العامل

في هيئة تحرير «المعاصر»، والصديق القديم لبوشكين. فقد كتب صديقه القديم المهندس م. س. فولكوف خريف عام 1836 مقالة مؤيدة للطريقة الجديدة للمواصلات. فأرسل أودويفسكي المقالة فورا إلى بوشكين لنشرها في المعاصر.

«مقالة فولكوف بالفعل رائعة جدا، ومكتوبة بفطنة وبذكاء مشوقة للجميع». هكذا أجاب بوشكين أودويفسكي.

بيد أن بوشكين، خلافا لفولكوف وأودويفسكي، رأى الجهة الأخرى للمسألة أيضا: الأعباء الإضافية، التي تجثم على أكتاف الشعب الكادح أثناء بناء الوسائل الجديدة للمواصلات. أقنع أودويفسكي، على كل حال، بوشكين بضرورة نشر مقالة فولكوف، وكانت المقالة ستظهر في العدد الأول لـ «المعاصر» لعام 1837. بيد أن المصرع المأساوي للشاعر أعاق نشرها.

نتذكر أيضا قصيدة «السكة الحديدية» الرائعة لـ ن. أ. نيكراسوف، التي تشهد أيضا على إدراك الشاعر للعمليات الاجتماعية العميقة المرتبطة بالتقدم:

«طريق ضيق على خط مستقيم: ردمية ضيقة
وأعمدة، وسكك، وجسور
وعلى الجوانب عظام، روسية كلها...
كم تبلغ، يا فانيتشكا، هل تعلم أنت؟»

إلا أن التقدم ظاهرة لا تقهر، فقد شيدت السكك الحديدية على نحو أكثر في العالم، ونقلت القاطرات البخارية حمولات وأناسا أكثر وسدت قوة البخار من حيث المبدأ كليا حاجة الإنسانية في النقل البري.

وصل البخار إلى النقل المائي أيضا. وكان ضروريا لاسيما هنا، لأن التجارة العالمية النامية بشدة لم تستطع أن تتماشى مع التبعية العبودية لتقلبات الطقس. فكثيرا ما أصبحت السفن الشراعية الجميلة الناقلة للأحمال عبر المحيطات ضحية الطوارئ الطبيعية الهائجة. ولم يستخدم الشراع بوجه عام على الأنهار تقريبا، وقامت الخيول بجر السفن ضد التيار، وأحيانا الناس أيضا وهم المراكبيون (ففي روسيا وحدها كان عددهم نحو ستمائة ألف).

حاول المخترعون منذ القدم أن يستعيضوا عن القوة العضلية للناس،

التي تحرك السفن النهرية، بمصدر أقوى. وكنا قد ذكرنا سفينة الثيران ليبورنا، التي لم تعتمد في الحقيقة على الطرق المائية. وجرت في روسيا أيضا محاولات لإنشاء سفن آلية، إذ استخدمت الأنهر منذ القدم طريقا من الطرق الأساسية للمواصلات. وكثيرا ما استخدم عند الجر ضد تيار الأنهر الروسية الجبارة السير بالدفع، فيرمي المرساة الثقيلة عند ذلك أمام السفينة مربوطة بحبل طويل من القنب «بحبل الدفع». وينتقل المراكبيون، منتشلين الحبل الثقيل المنتفخ من البل، ببطء من مقدمة السفينة إلى مؤخرتها مقدمين السفينة إلى الأمام، وأحيانا كان يجر السفينة الثقيلة بهذه الطريقة عدد يبلغ تسعين إلى مائة إنسان، ولكنهم لم يوفقوا في اجتياز أكثر من عشرة إلى اثني عشر كيلومترا في اليوم من العمل المضني المستمر.

في الثامن من نوفمبر عام 1782 جرت في بطرسبورغ تجربة أول سفينة آلية في روسيا على نهر النيفا، هي سفينة إيفان بيتروفيتش كوليبين.

احتفظت «السفينة المائية» بمبدأ «الدفع»، ولكنها استغنت كليا عن عمل المراكبي الشاق، وانتقلت السفينة بوساطة «ماء الدواليب العاملة...»، التي «ترتفع بإطارات وتهبط عن طريق قائمة بعوارض بوساطة البكرات». أقيمت على مقدمة السفينة المائية ومؤخرتها أربعة دواليب تجديف. دارت بقوة تيار النهر ونقلت الحركة للعمود، الذي ربط عليه حبل الدفع نفسه. بقيت للسفينة سرعتها السابقة، ولكن تقدمها ضد التيار كان بقوة الماء لا بقوة العضلات.

أثناء تجربة «السفينة المائية» حضرت اللجنة الرفيعة، التي دخل فيها أعضاء لجنة إدارة الأسطول البحري، وعلى رأسها النائب العام نفسه الأمير أ. أ. فيازيمسكي. تمت التجربة بنجاح، وقدمت للمخترع مكافأة، بيد أن قصة «السفينة المائية» انتهت عند ذلك. لقد أهلك الاختراع الجمود البيروقراطي للموظفين والاعتياد على عمل المراكبي، الذي يلمس فيه نقص. ومع ذلك ففكرة السفينة التي تتحرك بالآلة اكتسبت مزايا واقعية وسهلت كثيرا ظهور السفن البخارية على الأنهر الروسية.

حاول الميكانيكيون منذ القدم أن يستخدموا قوة البخار لتحريك السفن. وقد ذكرنا التجربة غير المثبتة لبلاسكو دي غاراي في بناء باخرة، وكتب سولومون دي كو عن استخدام البخار من أجل تحريك سفن التجديف.

وقدم ديني بابن عام 1708 تصميمه للقارب البخاري لعرضه على الهيئة الملكية في لندن، غير أنه لم يحصل على دعم. وبالفعل ففي ذلك الزمن لم يمكن تحقيق تصميم للسفينة البخارية، ولم يخترع بعد المحرك الملائم. لقد أصبح الاهتمام بإنشاء السفن البخارية ممكنا بصورة جدية عندما بدأت تعمل تصاميم لهذه الآلات البخارية غير متقنة في أول الأمر، ثم تصاميم أكثر نجاحا فأكثر.

لقد تحققت في فرنسا المحاولات الأولى العملية في بناء السفينة البخارية. ففي عام 1753 أعلنت أكاديمية العلوم الباريسية مسابقة عروض للآليات المحركة للسفن. اشترك في المسابقة أكبر العلماء: دانييل بيرنولي، وليونارد إيلير وغيرهم. استحق الجائزة الأولى بيرنولي الذي عرض في بحثه بكل وضوح أن جميع الآلات المعاصرة له، ومن ضمنها آلة نيوكومن أيضا لا تستطيع أن تؤمن حركة السفينة على نحو أحسن من المجاديف العادية جدا. وعلى الرغم من النتيجة المتشائمة للمنتصر ذي النفوذ، لم تتوقف محاولات بناء سفينة تعوم دون مجاديف وأشرعة.

كان بين الهواة المهتمين بهذه المسألة الدارجة في ذلك الزمن الضابط الشاب المركيز كلود دي جوفروا دا أبان أيضا، الذي نفي إلى بروفانس إثر مبارزة مع قائده. فقد قرر، وهو يعمل في أوقات الفراغ بجمع تاريخ السفن القديمة وغيرها من سفن التجديف، إنه حان وقت استبدال الآلة البخارية بالمجدفين. بيد أنه لم تكن في فرنسا وقتئذ آلات بخارية، ولم يستطع المركيز المغضوب عليه التوجه إلى إنجلترا. وكما يحدث مرارا أغاثته مصادفة.

فقد باشر الاخوة بيريو عام 1775 بناء أول «مضخة نارية» في فرنسا، أي آلة وات نفسها. وتوجه الضابط الشاب في الحال إلى باريس، وتعرف بالاخوة بيريو ودرس آلتهم بالتفصيل. مما زاد في ترسيخ فكرة إمكان بناء السفينة البخارية عنده. بدأت التجارب. وبعد عدة إخفاقات تمكن من بناء السفينة «بيروسكاف»، التي جربت علنا بالقرب من ليون عام 1783 استطاعت هذه السفينة المحركة بدواليب التجديف التي دورتها الآلة البخارية أن تتقدم ضد التيار أكثر من ساعة.

سرعان ما أوقف جوفروا للأسف نشاطه الاختراعي، فقد اشتعلت الثورة في فرنسا، وهاجر المركيز الملكي الذي اشترك في جمع محاولات

إعادة النظام البائد، تاركا تجاربه العلمية.

أنشأ وات في هذا الوقت آلة بخارية فعالة ذات تأثير مضاعف. وظهر في إنجلترا وكأن السفينة ذات المحرك الجديد ستبحر من دقيقة إلى أخرى، إلا أن الإنجليز لم يستعجلوا تماما في حل هذه المسألة مع أنهم سموا أنفسهم بفخار «أمة البحارة».

إن المحاولات الأكثر جدية لبناء البواخر آنذاك جرت في أمريكا. فقد حضر إلى الرئيس واشنطن عام 1784 في وقت واحد تقريبا مخترعان - د. فيتش ود. رامسي-واقترحا تصاميمهما لاستخدام آلة وات البخارية في تحريك السفن. تحركت باخرة فيتش بدواليب تجديف، أما رامسي فقد ابتكر شيئا شبيها بمحرك قاذف للماء؟ فقد امتص الماء بمخضة منصوبة في مقدمة السفينة، ثم طرح قرب مؤخرتها. كانت حركتا الباخرتين المجربتين كلتيهما شديدتي البطء وغالبا ما تكسرتا. ولم يتمكن المخترعان من إثارة اهتمام رجال الأعمال. وجلبت التجارب خسائر باستمرار.

توجه فيتش إلى فرنسا بحثا عن أموال لمتابعة التجارب، إلا أن تصميمه لم يثر هناك اهتمام أحد أيضا. أما رامسي الذي ذهب إلى إنجلترا للسبب نفسه فقد كان أسعد حظا إذ وجد هنالك من يموله بالأموال الضرورية لإجراء التجارب. غير أن القارب البخاري الذي بناه لم يتحرك. وهنا في لندن توفي المخترع. ومع أن تجارب رامسي كانت غير ناجحة، فقد ظهرت إسهاماته في تاريخ اختراع الباخرة عظيمة على غير انتظار.

يكمن السر في أن رامسي صادق في لندن أمريكيا شابا اهتم بحيوية بنشاطه وشاركه في محاولات بناء الباخرة. هذا الشاب هو روبرت فولتون.

خطأ نابليون بونابرت

ولد روبرت فولتون الأيرلندي الجنسية في الولاية الأميركية بنسلفانيا. وتيتّم باكرا جدا فجيء به إلى فيلادلفيا، حيث التحق بورشة صائغ معروف للدراسة. ومنذ طفولته المبكرة اكتشفت عنده مواهب عظيمة في الرسم. وفي عام 1782 افتتح فولتون البالغ من العمر سبعة عشر عاما ورشة لرسم الصور في فيلادلفيا. وشارك سكوربيت المحامي المعروف للعلوم والفنون بنشاط في مصير الرسام الموهوب، وساعده عام 1786 على السفر إلى

لندن لتطوير فنه. إلا أن دروس الميكانيك الآن استمالت فولتون أكثر من الرسم. أنهى فولتون علاقته بالرسم بعد لقائه رامسي (إلا أن فولتونو لأكثر من مرة خلال حياته وبمساعدة الريشة والفرشاة أموالا لمتابعة التجارب على بناء الباخرة).

جميع تصاميم رامسي وحساباته بقيت بعد وفاته عند فولتون. فعالج كل الأخطاء الواضحة وطور تصميم الباخرة الذي وضعه رامسي تطويرا ملموسا، وكان رامسي قد رفض في السنين الأخيرة فكرة المحرك القاذف للماء، واستخدم في نماذجه دواليب التجديف. شرع فولتون يبحث عن رجل أعمال يمول تجاربه. وقد انتهى بحثه هذا بالفشل، وخابت آمال الناس في إنجلترا بشدة من النتيجة التي وصلت إليها محاولات سايمينغتون وميلير لبناء القارب البخاري. أطلق المخترعون الباخرة «شارلوتا دونداس» إلى الماء (كان روبرت بيرنس وفولتون يراقبان أولى تجارب هذه الباخرة)، إلا أن محركها كان غير ناجح لدرجة أن الباخرة غرقت في النهاية.

عبر فولتون عام 1796 المانش، لأنه لم يجد الدعم المالي في إنجلترا.

بدأ في فرنسا بتنفيذ الاقتراح المغري ببناء غواصة. وقد نظرت اللجنة التي دخل فيها الأكاديمي مونج ولابلاس وغيرهما بعين الرضا إلى تصميم فولتون، وبناء على نصيحتهما خصصت الحكومة الأموال الضرورية. للأسف كان النموذجان الأول والثاني للغواصة فاشلين. وخابت آمال نابليون المشغول بالحروب مع الدول المجاورة من فكرة فولتون بسرعة، وأوقف تمويل أعلى التي بشرت في البداية بانعطافات في الحرب البحرية.

وقد ساعدت فولتون مصادفة، ففي باريس صادق السفير الأمريكي الغني والشجاع روبرت ليفينغستون، الذي كان هو نفسه غير معارض لبناء الباخرة أيضا. أمّن ليفنغستون الأموال الضرورية للمخترع، وفي عام 1803 أنجزت أولا باخرة لفولتون عوما تجريبيا في نهر السين بحضور مشاهدين عديدين.

استطاعت السفينة أن تعوم ساعة ونصف الساعة ضد التيار بسرعة نحو أربعة كيلومترات في الساعة. لجأ فولتون إلى نابليون من جديد طالبا المساعدة. لكنه قوبل برفض شديد، وبعد أن ابتلي فولتون بالفشل في أوروبا، قرر العودة إلى أمريكا. وفي هذا الوقت استطاع ليفنغستون بعد

التماس أن يحصل له على امتياز لتنظيم ملاحة البواخر في ولاية نيويورك لمدة عشرين سنة - على أن يبني فولتون خلال سنتين الباخرة التي ستمضي ضد تيار غودزون بسرعة لا تقل عن ستة كيلومترات في الساعة. عاد فولتون عام 1806 إلى الوطن. جالبا معه آلة وات البخارية، التي صنعت في مصنع بولتون بقدرة 18 حصانا.

بدأ فولتون فورا في بناء الباخرة. وانطلقت الباخرة «كليرمونت» إلى الماء عام 1807، وكان طولها 50 مترا، وقد نصب عليها آلة بخارية. ووضع على جانبيها دولابان للتجديف قطر كل منهما خمسة أمتار. أحدثت هذه المنشأة الخرقاء ضحك جميع المشاهدين على شاطئ غودزون. ولكن عندما تقدم هذا العملاق الأخرق ضد التيار، منميا سرعته أكثر، انقلب الضحك بسرعة إلى صيحات إعجاب. طاف المدينة نبأ النجاح، وتوارد آلاف من سكان نيويورك مستعجلين ليتفرجوا على المنظر المنقطع النظير. كان انتصار فولتون كاملا.

أزيلت السيئات التي ظهرت أثناء التجربة الأولى بسرعة. وبعد عدة أيام ظهر في الجرائد إعلان عن فتح ملاحة منتظمة للبواخر بين نيويورك وأولبان، اللتين تبلغ المسافة بينهما نحو ثلاثمائة كيلومتر. إلا أن سطح الباخرة المسافرة في السفرة الأولى كان خاليا. وبصرف النظر عن النجاح الواضح للعوم الأول لم يوجد في المدينة كلها شجاع يجازف بحياته لقوة البخار المخيفة. في طريق العودة من أولبان وجد فدائي واحد فقط.

كتب في جرائد ذلك الزمن أن فولتون الذي تسلم من راكبه ستة دولارات أجرة السفر بدأ يبكي من السعادة، لأنها كانت أول تذكرة باخرة في التاريخ. وقد كان المخترع جاهزا ليشرب مع الراكب الأول زجاجة شمبانيا إلا أنه لم يكن يملك مالا لشرائها.

بعد هذه الحادثة بدأت أعمال الملاحة تتحسن بسرعة كبيرة. فقد بنى فولتون خلال عام 1811 أربع بواخر جديدة مخصصة للعوم على غودزون، وسرعان ما ظهرت البواخر على المسيسبي وأوهايو.

في عام 1812 ظهرت في إنجلترا، بمساع من هنري بيل، الباخرة «كوميتا» التي نقلت الركاب على نهر كلايد. وفي عام 1815 بدأت رحلات منتظمة بين بطرسبورغ وكرونشتادت للباخرة «اليزافيتا» التي بنيت في مصنع آلات

ك. ن. بيرد. عامت جميع بواخر ذلك الزمن على الأنهار والبحيرات الداخلية، ولكن هذا العوم لم يبعد كثيرا عن الوصول إلى المحيط.

أصبحت السفينة الأمريكية «سافانا» أول باخرة عبرت الأطلسي. وقد حدث ذلك عام 1819. وكان لـ سافانا عدا الآلة البخارية عدة أشرعة أيضا، زد على ذلك أن السفينة فتحت الأشرعة في الجزء الأكبر من الطريق. وفي عام 1883 فقط أتمت الباخرتان «الشعري» و«الشرقي العظيم»، المبنيتان خصيصا للعوم عبر الأطلسي، العبور من إنجلترا إلى أمريكا، ودون اللجوء لمساعدة الأشرعة (مع أنها على كل حال كانت موجودة على هاتين الباخرتين أيضا).

قام البخار حتى منتصف القرن التاسع عشر عمليا وفي كل مكان بتبديل منابع الطاقة الطبيعية - الماء والريح - فوسع إمكانات الإنسانية بما لا يقاس. وحرك الآلات في العديد من المصانع والمعامل، وبمساعدته رفعت الحمولات، وتحركت القاطرات والبواخر. وبكلمة كانت الآلات البخارية في كل مكان. وفي كل مكان احتيج إلى آلات بخارية جديدة أشد قوة وأكثر تطورا.

ظهر عائق غير متوقع أمام الميكانيكيين، هو غياب نظرية الآلات البخارية- وعدم اكتمال نظرية الحرارة بوجه عام. إن مخترعي الآلات البخارية والقاطرات البخارية والبواخر، وهم في غالبيتهم متعلمون بأنفسهم وخبراء، قد استعملوا بعض القوانين التجريبية، غير أنه ببساطة لم يوجد نظام حساب، بالإضافة إلى أنه في الحقيقة لم تكن خواص بخار الماء معروفة في ذلك الزمن.

النظرية تستعجل التطبيق

أخذ بعض العلماء منذ بداية القرن السابع عشر فقط يفهمون أن البخار ليس هواء، بل هو حالة خاصة للماء. ونظمت تجارب منهجية لتحديد خواص البخار: كانت هذه قبل كل شيء أعمال تسيغلر، وبيتانكور، وسوتيرن وغيرهم.

اكتشف صديق وات البروفسور جوزيف بليك الأستاذ في جامعة غلاسكو، اكتشافا مهما جدا. إذ أدخل مفهوما عن الحرارة الكامنة للانصهار وللتبخر.

وصل بليك إلى هذه المفاهيم استنادا إلى مراقبة الظاهرة العادية جدا - وهي ذوبان الثلج في نهاية الشتاء. فقد فكر بهذه الطريقة: لو ذاب الثلج والجليد المتراكمان خلال الشتاء، دفعة واحدة، حالما تصبح درجة حرارة الهواء أعلى من الصفر، لكان اجتياح الفيضانات حتميا. ومادام ذلك لا يحدث فيجب إنفاق بعض كميات من الحرارة ليذوب الجليد، وقد سماها هو بالضبط: الحرارة الكامنة.

وصل بليك بمساعدة مناقشات طريفة، مماثلة إلى نتيجة أنه لتبخير الماء يجب إنفاق حرارة أيضا. وحسب أنه لتبخير كمية من الماء من الضروري إنفاق حرارة أكبر بأربع مرات من تلك الحرارة الضرورية لتسخينه من نقطة التجمد إلى نقطة الغليان.

كانت هذه النتيجة مهمة للغاية لمصممي الآلات البخارية، وقد استعملها وات على نطاق واسع جدا من أجل حساباته. وقام وات نفسه بأبحاث مهمة عن خواص البخار أيضا.

ومع ذلك لم يستطع أحد في ذلك الزمن أن يعطي مثلا، جوابا على سؤال مهم للغاية من أجل تطبيق وضعه وات: كم نحتاج من الفحم لكي نحصل على عمل محدد، وما السبل عند إنجاز العمل لاستهلاك حد أدنى من الفحم؟

تولى القيام ببحث هذه المسألة المهندس الفرنسي الشاب سادي كارنو - ابن لازاركانو، العالم الفذ والسياسي والذي أثرت حياته بلا شك تأثيرا كبيرا ليس على شمائل الابن فحسب، بل على إقبال العالم الشاب على حل المسائل المطروقة أيضا.

ولد سادي كارنو عام 1796 - في السنة التي انتخب فيها أبوه عضوا في أكاديمية العلوم الباريسية. حصل الصبي على تعليم بيتي رائع، فقد طور الأب فيه لا الاهتمام بالعلوم الدقيقة فحسب، بل بالفن أيضا.

وفور تخرجه في المدرسة البوليتكنيكية المشهورة في باريس تقريبا استقال-لأن طبعه والسمعة «الجمهورية» لأبيه لم يمكناه من مزاولة النشاط في الهندسة أو السياسة.

سافر سادي إلى أبيه في ماغديبورغ حيث كتب على ما يبدو كتابه الشهير «أفكار عن القوة المحركة للنار». على كل حال صدر هذا الكتاب فور

عودة كارنو إلى باريس بعد موت الأب. وفي باريس لم يشغل منصبا ما، لكنه عاشر مشاهير العلماء دائما، مكدسا مادة لمتابعة عمله.

كان المصير المقبل لسادي كارنو ولأعماله مأساويا، فقد أصيب بالكوليرا وهو في أوج قواه وتوفي عام 1832. وحسب القواعد الصحية لذلك الزمن أحرقت جميع أمتعته وبينها بدايات أعماله العلمية. بقيت بعد سادي بعض الملاحظات فحسب، ويظهر منها مدى السمو الذي بلغه بحثا عن نظرية الآلات الحرارية.

إن ظهور كتاب صغير لكارنو يعني أنه ابتدأت في الفيزياء مرحلة جديدة. كانت مهمة لا النتائج التي استنبطها العالم الشاب وحدها، بل أيضا الطريقة التي استعملها. وضع كارنو على رأس طريقته بديهية عدم إمكان تحقيق المحرك الأبدي. كان هذا المبدأ الذي استند إلى قانون حفظ الطاقة المصوغ آجلا مستحدثا جريئا خارقا للعادة في زمن كارنو.

يبدأ كارنو كتابه بمديح للآلة البخارية، التي حظيت وقتئذ بانتشار واسع. ويشير في المكان نفسه إلى أن نظريتها لم تعد إعدادا كاملا. ولكي تظهر ينبغي البحث في مسائل المحركات الحرارية بوجه عام. يتأمل كارنو مخططا لمثل هذا المحرك: «... في بداية الأمر ضغط الهواء بالمضخة، ثم إمراره عبر فرن مغلق تماما، مدخلين الوقود إلى هناك بكميات صغيرة بمساعدة أداة يمكن صنعها بسهولة، ثم إرغام الهواء على تنفيذ عمل في الأسطوانة مع المكبس أو في أي وعاء ممدد آخر، وفي آخر الأمر طرحه إلى الجو...» نلاحظ أن هذا وصف لعمل المحرك الذي اخترعه رودولف ديزل بعد نحو سبعين سنة من كارنو! أية مخيلة وجب أن يتمتع بها العالم لكي يجري الحديث لا عن الآلات غير المبنية بعد فقط، بل غير المبتكرة بعد أيضا!

في الحقيقة كانت معروفة لكارنو تجارب الأخوين كلود وجوزيف نيسفور نيوبس في بناء محرك الاحتراق الداخلي. فقد تمكنا من الحصول على براءة اختراع لبيريولوفور، كما سمى الأخوان اختراعهما، إلا أنهما لم يستطيعا صنع آلية، وخاصة لم يتمكنا من اختيار الوقود الملائم. إضافة إلى ذلك فقد كانا مؤلفين لأول عملية تصوير، ركزا تفكيرهما في تطويرها، وأوقفا اشتغالهما بمحركهما.

وقد وصل كارنو بالانطلاق من مناقشات تجريدية للغاية، كما يبدو، إلى نتائج ملموسة تماما. فقد أثبت أنه للحصول على عمل لا يكفي أن نملك بخارا فحسب أو جسما عاملا آخر، بل يجب أن يكون في الآلة حتما مبرد أيضا. أشار كارنو بالضبط إلى «أنه للحصول على قوة محركة لا يكفي إنتاج الحرارة بل ينبغي كذلك أن نملك البرودة».

كان كارنو أحد الأوائل الذين استخدموا بجرأة طريقة المشابهة الفيزيائية، فقد شبه عمل الآلة الحرارية بعمل المحرك المائي مقارنا انتقال الحرارة من الجسم الأشد سخونة إلى الأشد برودة بسقوط الماء من المستوى العالي إلى المنخفض.

ينبغي الإشارة إلى أن مصممي الآلات البخارية قليلا ما اكتسبوا من عمل كارنو. فقد كان بالنسبة إليهم صعب المنال بحكم اللغة العلمية المعقدة، إلا أنه أصبح ذلك الأساس الذي نشأت عليه فيما بعد التقنية الحرارية، أو العلم الذي صار القاعدة النظرية لإنشاء جميع الأجهزة الحرارية.

للحصول على جواب نهائي للسؤال الذي وضعه وات، يجب إنشاء اتصال بين العمل الميكانيكي والحراري، وقبول فكرة تكافؤ الحرارة والعمل الميكانيكي. إلا أن الطبيعة الميكانيكية للحرارة نبذت في الفيزياء في ذلك الوقت. واتفق على أن الحرارة تتحدد بوجود إحدى المواد الخاصة في الجسم، الصنف الحراري، الذي تتبادله الأجسام، التي تتمتع بدرجات حرارة متباينة، في عملية نقل الحرارة. بالمناسبة شرحت نظرية الصنف الحراري جيدا الكثير من الظواهر، مثل السعة الحرارية والنقل الحراري. تمسك كارنو بهذه النظرية أيضا، مع أنه في ملاحظاته وضع بصورة عامة إدراكا للنظرية الميكانيكية للحرارة. واجهت نظرية الصنف الحراري في ذلك الزمن حجر عثرة، واقعة واحدة: من أين تنتج الحرارة عند الاحتكاك؟ بالطبع عثر أنصار فكرة الصنف الحراري على تعليلات ذكية بالتجارب، التي بدا فيها أن الصنف الحراري لا ينتج من مكان، بيد أنه عند ذلك يجب أن تكون خواصا المادة فريدة من نوعها تماما.

وحتى في نهاية القرن الثامن عشر فكر بنجامين رومورد، الذي كان يعمل بتثقيب سبطانات المدافع في ورشة حربية في ميونيخ، فكر في قضية: لماذا تنطلق الحرارة عند ثقب المعدن، ولم ترتفع حرارته؟ من الواضح هنا

أن الصنف الحراري لم يكن له يد في ذلك، وأعلن رومفورد بجرأة: «الحرارة هي الحركة».

قام همفري ديفي في لندن بتجربة مهمة جدا. فقد جمع معا قطعتين من الجليد، ووضعهما في وعاء مفرغ من الهواء، وقادهما إلى احتكاك متبادل بوساطة نابض ساعة. ذاب الجليد مع أنه من الواضح أن الصنف الحراري لم ينتج من مكان. جرى المرور بسرعة على فكرة تكافؤ الحرارة والعمل الميكانيكي، على أنه كان ثقيلا للغاية تحمل تقاليد علماء الفيزياء ونفوذهم - أنصار نظرية الصنف الحراري - لذلك بالضبط نشر هذه الأفكار فتيان بعيدون عن العلم الرسمي-مثل الطبيب العسكري ذي الثمانية والعشرين عاما روبرت ماير وصاحب مصنع البيرة اللندني ذي الخمس والعشرين سنة جيمس جول.

للمرة الأولى خطرت ببال ماير فكرة تكافؤ الحرارة والحركة أثناء خدمته في سفينة حربية. استحوذت هذه الفكرة على الطبيب الشاب لدرجة أنه كرّس لها كل حياته، واضعا في الدفاع عنها وتطويرها كل قواه الروحية والجسدية. في نهاية الأمر تحول الولع إلى هوس وأدى به إلى مستشفى للأمراض العقلية.

كتب ماير عام 1841 عمله الأول. وامتنع عن نشره بوغيندورف محرر مجلة فيزيائية معروفة (مما سبب فيما بعد العديد من الملاحظات التهكمية التي سميت باسمه). بالمناسبة يقال إن رفض نشر المقالة لعب دورا إيجابيا، بما أن أول عمل لماير احتوى أغلاطا صغيرة وأخطاء لدرجة أنه كان يمكن عند نشره أن يفقد الثقة بالفكرة العظيمة نفسها. نشر بعد سنة نموذج المقالة المصحح في مجلة كيميائية.

بدأ ماير عمله طارحا أسئلة: ماذا يجب أن يفهم من كلمة قوة؟ وكيف تتعلق القوى المختلفة ببعضها البعض؟ (بالمناسبة، فهم ماير من كلمة «قوة» بالتحديد ذلك الذي تعنيه كلمة طاقة في المصطلحات المعاصرة. مع أن مفهوم «طاقة» طبقه بيرلوني ويونغ أيضا، ولم يستعملاه حتى جاءت أعمال اللورد ليلفن، فأصبح بعدها متعارفا عليه إلى الأبد).

توصل ماير إلى استنتاج أن الحركة تتحول دائما إلى حرارة والحرارة إلى حركة، أي إلى قانون حفظ الطاقة عمليا. وحصل من الحدس العبقري

فعلا بطريقة المناقشات التجريدية إلى حد ما على قيمة عددية للمكافئ الميكانيكي للحرارة الثابت الأكثر أهمية لعلم الطاقة الحرارية. وحتى في أفضل الآلات البخارية يتحول مجرد قسم صغير جدا من الحرارة الواصلة إلى المرجل إلى حركة أو إلى رفع حمل.

في عام 1843 حدد جيمس جول تجريبيا، دون أن يعلم شيئا بعد عن أعمال ماير، المكافئ الميكانيكي للحرارة بالارتباط مع أبحاث الفعل الحراري للتيار. أصبح مبدأ الفعل، الذي استخدمه جول عند إجراء التجربة، نموذجيا ويستخدم حتى الآن.

مرت سنون عديدة بعد نشر أعمال ماير وجول، قبل أن يدرك الفيزيائيون كل أهمية المبدأ الذي صاغاه، مبدأ تكافؤ الحرارة والحركة الميكانيكية.

كان هيرمن هيلمهولتس، الإنسان الذي أعطته الثقافة الموسوعية إمكان استنتاج قانون حفظ الطاقة.

ومثل ماير كان طبيبا ووصل إلى القانون أيضا، بادئا من أبحاث طبية. ودون أن يعرف شيئا عن أعمال ماير، نشر هيلمهولتس عام 1847 مقالته المشهورة عن حفظ القوة، التي رفض بوغيندورف طبعها في مجلته. لم يتقيد هيلمهولتس في هذه المقالة فقط بمعالجة «القوة» الميكانيكية والحرارية (أي «الطاقة» في المصطلحات المعاصرة). بل بحث في أشكال أخرى للطاقة وصاغ أحد القوانين الأساسية للطبيعة - قانون حفظ الطاقة أيضا.

استوعب المهندسون فكرة حفظ الطاقة بسرعة إلى حد ما وبلا صعوبات. فقد أصبحوا قادرين جيدا على مقارنة مختلف الآلات فيما بينها، مقدرين أن كل قسم من الطاقة الموضوعة تتحول إلى طاقة مطلوبة. وحصلت نظرية الآلات البخارية ابتداء من هذا التاريخ على كل الأسس العلمية. وظهرت فروع جديدة للعلم - علم الديناميكا الحرارية والتقنية الحرارية.

لم يضيع مصممو الآلات البخارية الوقت سدى؛ فعلى أساس التحسينات الجديدة صارت الآلات البخارية أقوى، وأكثر إنتاجية واقتصادية. وبدا أن مسألة تأمين الطاقة للصناعة، ولوسائل النقل، ولغيرها من أنواع النشاط الإنساني قد استبعدت من جدول الأعمال. ابن الآلات البخارية التي تستطيع أن تنفذ كل عمل، وأطلق البواخر الضخمة إلى الماء، وأخرج القاطرات البخارية القوية إلى السكك الحديدية! ولكن لم يظهر كل شيء بمثل هذه

السهولة، فقد اكتشفت نواقص جدية في الآلات البخارية أيضا.

فضلا عن المردود المنخفض للآلات البخارية (لم يهتموا في الحقيقة وقتئذ، بذلك خاصة) ظهرت فيها حالات حرجة عملية بحتة أيضا. فأولا، أصبحت الآلات أكثر، وفي كل مصنع اشتغلت على الأقل آلة بخارية واحدة. وكان من الضروري نقل الوقود إلى كل منها. أصبحت الآلات نفسها أقوى واحتاجت إلى كثير من الوقود، اعتبرت مشكلة نقله إلى الآلات أكثر حدة. وثانيا، كان نقل الحركة من الآلة إلى الماكينات أمرا ليس سهلا أيضا، فلا يمكن أن تبنى آلة بخارية لكل ماكينة. تحققت آلية نقل الحركة للماكينات بوساطة آلية معقدة وغير متينة. وثالثا، إن منظر المدن المغطاة بالهباب، المنفوث من مداخن آلاف المعامل، قد حمل على التفكير آنذاك بأن الآلة البخارية ليست آلة مثالية لتوليد الطاقة إطلاقا. كان من الضروري البحث عن منابع جديدة أخرى للطاقة، وأساليب جديدة للحصول عليها وتحويلها.

الهوامش

(1) تالنتون: (من اليونانية Talanton - وزن أولي)، أكبر وحدة ثقيلة وحسابية نقدية في اليونان القديمة، وبابل وفارس وغيرها من بلاد آسيا الصغرى. وهو يساوي في زمن الإسكندر المقدوني - 25 , 9 كغ، وفي نظام القياس البابلي الآشوري 30 , 3 كغ، وبلغ التالنتون اليغينسي 37 كغ. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا-المجلد 25-دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1976، ص 227) - المترجم.

(2) ستاديون من اليونانية (Stadion)، وهو وحدة قياس للمسافة لدى الكثير من الشعوب القديمة، واختلفت قيمته فمثلا في بابل بلغ نحو 195 م، وفي بلاد الإغريق نحو 185 م. (قاموس الكلمات الأجنبية - دار اللغة الروسية، موسكو 1988، ص 470) - المترجم.

(3) المرحلة الهيلينية: هي مرحلة في تاريخ بلاد شرقي البحر الأبيض المتوسط تمتد من زمن حملات الإسكندر المقدوني (334 - 323 ق. م) حتى احتلال روما لهذه البلاد، وقد انتهت عام 30 ق. م بإخضاع مصر. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 30، دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1978، ص 142) - المترجم.

(4) بوهيميا: من اللاتينية Bohemia - بلد المعارك - التسمية الأولية للأرض التي تشكلت عليها الدولة التشيكية (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 3 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1970، ص 446) المترجم.

(5) بلاتين: من الفرنسية (Plateau): هضبة قليلة الارتفاع ذات انحدارات شديدة متدرجة (قاموس اللغة الروسية في أربعة مجلدات - المجلد 3 - دار روسكي يازيك، موسكو 1984، ص 136) - المترجم.

(6) بيتوردا: وهي علبة صفيح (تنكة) محشوة بالبارود، من أجل تفجير شيء ما. فجرت بالبيتوردا البوابات والأسوار ذات القوائم الخشبية المدببة. المعجم اللغوي للغة الروسية العظيمة الحية، فلاديمير دال - المجلد 3 - ص 105) - المترجم.

(7) لاندغراف: من الألمانية (Landgaf): أمير ذو نفوذ في القرون الوسطى بألمانيا. وأكثر هؤلاء نفوذا هو لاندغراف التورنيشي والهيسيني. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 14 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1973، ص 142) - المترجم.

(8) كورفورست: من الألمانية (Kurfurhster) وتعني حرفيا منتخبي الأمير، وهو الأمير الذي يحق له منذ القرن الثالث عشر انتخاب الإمبراطور. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 14 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1973 - ص 47) - المترجم.

(9) كاسل: من اللاتينية (Kassel) - مدينة في ألمانيا الغربية في أرض غيسين على نهر فولدا. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا - المجلد 11 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1973، ص 504) - المترجم.

(10) نيوكاسل: من اللاتينية (Newcastle) - مدينة في بريطانيا العظمى ومركز إداري لولاية الكونت بورتامبيرلاند (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا)، المجلد 18، دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1974، ص 162) - المترجم.

(11) ديفونشير: من اللاتينية (Devonshire) - ولاية كونت في بريطانيا العظمى لا جنوب غرب إنجلترا. (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا، المجلد 8 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1972، ص 33) - المترجم.

(12) دارتموث: من اللاتينية (Dartmouth) - ولاية كونت في بريطانيا العظمى (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا، المجلد 8 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1972، ص 556) - المترجم.

(13) ولفير هيمبتون: من اللاتينية (Wolverhampton) مدينة في بريطانيا العظمى في ولاية الكونت ستافوردسير: (الموسوعة السوفييتية الكبرى في ثلاثين مجلدا، المجلد 5 - دار سوفييتسكايا إنسكلوبيديا، موسكو 1971، ص 501) - المترجم.

4 العصر الذهبي للكهرباء

مناقشات حول صورة، أو فجر علم الهندسة الكهربائية

أصبح اسم الأكاديمي الروسي فاسيلي فلاديميروفتش بتروف - وهو أول تقني كهربائي في العالم - معروفا على نطاق واسع لمؤرخي العلم الأجانب في زمننا فقط. ويجب القول إن الأكاديمي ف. ف. بتروف قد نسي أيضا في روسيا فور موته.

بهذا الظلم التاريخي بالضبط ارتبط الحديث الشهير لدانييل غرانين «أفكار في الصورة، غير الموجودة» حيث قيلت كلمات مرة عن واجب العالم وعمله ومجده.

ابتداء مجد ف. ف. بتروف من أنه في نهاية القرن الماضي بدأ أحد أساتذة الأكاديمية العسكرية الطبية، وبالذات الأستاذ المساعد ن. غ. يغوروف، يقرأ محاضرات في الفيزياء بجامعة بطرسبورغ كذلك. وكان من بين تلاميذه أ. ل. غيرشون أيضا، الأستاذ المقبل، والمهتم بمحاضرات يغوروف اهتماما كبيرا. مع قدوم العطلة الصيفية ارتحل الطلاب إلى الراحة. وأما غيرشون فقد قرر تمضية الصيف مشتغلا في مكتبة عامة بمدينة فيلنو، حيث درس مؤلفات الفيزياء.

مستعرضا ليس أقل من مائة كتاب، عثر على مجلد صغير باسم «أنباء عن التجارب الغلفانية الفولتية، التي أجراها أستاذ الفيزياء بتروف بوساطة أضخم البطاريات، والمكونة لماما من 4200 من الحلقات النحاسية والتوتيائية، والموجودة في أكاديمية سانت بطرسبرغ الطبية الجراحية والمطبوعة في سانت بطرسبورغ، في المطبعة الحكومية للهيئة الطبية عام 1803».

لم يكن عند غيرشون وقت طويل، فقد كان يفضل أن يترك المجلد القديم جانبا، لولا أن مؤلف الكتاب - واسمه بتروف كما قال في نفسه - كان على ما يبدو سلفا للبروفسور الحالي يغوروف، وما دام بتروف مثل يغوروف أيضا، فقد عمل في الأكاديمية الطبية الجراحية، والآن في الأكاديمية العسكرية الطبية، كما هو واضح من التسمية.

إن هذا الظرف المصادف بالضبط فقط، أرغم غيرشون على قراءة الكتاب بانتباه. وكلما أوغل الطالب في القراءة بإمعان وترو زاد ولعه شدة؛ فقد انكشف أمامه عالم العالم، غير المعروف مطلقا حتى الآن. اكتشف بتروف المجهول قبل ذلك القوس الكهربائية، وحقق العديد من الاكتشافات في الهندسة الكهربائية، وبصورة عامة كان أول إنسان في العالم نظر إلى الكهرباء من المواقع التقنية، من وجهة نظر الفائدة التي يمكن للكهرباء أن تجلبها للناس. كان العالم المنسي أول تقني كهربائي.

وجدت في الكتاب أشياء مدهشة. وقد كتب بتروف: «إذا وضعت على لوح زجاجي أو على مقعد ذي قوائم زجاجية، قطعتان أو ثلاث من الفحم الخشبي، القادر على إنتاج الظواهر الحاملة للضوء بوساطة السائل الغلفاني الفولتي، ثم قربنا بعد ذلك، بوساطة مسريين معدنيين معزولين ومتصلين بقطبي بطارية ضخمة، قطعتي الفحم إحداهما من الأخرى على مسافة خط واحد إلى ثلاثة خطوط، فسيظهر بينهما ضوء ساطع للغاية ذو لون أو لهبة بيضاء، تشتعل بوساطتها قطعتا الفحم عاجلا أم آجلا فستضاء بهما الغرفة المظلمة بوضوح إلى حد ما».

نظر غيرشون بانتباه إلى غلاف الكتاب. كانت سنة الإصدار هي 1803، وأجريت التجارب سنة 1802. لا شك في أن«الضوء الأبيض اللون الساطع للغاية، والناشئ بين قطعتي الفحم، هو القوس الكهربائية، يضاف إلى ذلك أنه حُصل عليه من قبل ديفي، الذي منح اللقب العظيم لقب أول مكتشف،

ببضع سنين. أشار البروفسور المجهول: بمساعدة الضوء الذي اكتشفه يمكن أن تضاء الغرفة المظلمة بوضوح إلى حد ما» أي أنه أفصح عن فكرة الإضاءة الكهربائية بغير إبهام لأول مرة. كتب المؤلف بإنصاف في المقدمة، في الفقرتين الخامسة والثامنة، «أنه لم يحدث أني قرأت أنباء عن جوهر جميع التجارب بلا استثناء كهذا في أي مكان، قبل إجرائها».

عندما عاد غيرشون إلى الدروس روى لـ ن. غ. يغوروف ولرفاقه عن الاكتشاف الذي أدهشه. وقد قاموا فورا بالتفتيش عن أعمال أخرى للبروفسور الغامض. اكتشف عدد كبير من الأعمال المهمة لبتروف في مجموعة «أبحاث تأملية لأكاديمية سانت بطرسبورغ للعلوم» وفي العديد غيرها من المؤلفات، ومن ضمنها كتاب عن «بروفسورات المملكة الخاملة وعن السبب الحقيقي لإشعاع الأشجار العفنة»، حيث قيلت خاصة وجهات نظر مهمة عن طبيعة الإشعاع الضوئي.

جلب اهتماما التنوع الكبير للتوجهات العلمية التي اشتغل بها ف. ف. بتروف، فهنا مسائل الكيمياء، والميكانيك، وعلم البصريات، والإشعاع الضوئي، والمتانة، والتحليل بالكهرباء، وعلم الأرصاد الجوية (ويوجد بين الأعمال العديدة أعمال خاصة جدا أيضا: مثلا عن تنظيف المحابر).

نشرت عن اكتشاف الطالب مقالة صغيرة في مجلة «الكهرباء». وأصبحت مؤلفات بتروف تدرس بدقة، واتضح هنا أن الكثير من أفكاره وأبحاثه تمثل أكثر من مجرد اهتمام تاريخي.

هكذا بفضل الاكتشاف المصادف أصبح فاسيلي فلاديميرفتش بتروف معروفا باعتباره أول مكتشف للقوس الكهربائية وأول تقني كهربائي في العالم. واليوم لا تنسى اكتشافاته في كتاب واحد للفيزياء ذي شأن. ويعرف بتروف في كل العالم عمليا بوصفه أول مكتشف للقوس الكهربائية والإضاءة الكهربائية. ومع الأسف كان نسيان بتروف خلال عشرات كثيرة من السنين عميقا لدرجة أنه لم يحفظ شيء من المعلومات الموثوقة والتفصيلية عن حياته. إن جميع المعلومات التي يمكن أن نستمدها عنه، هي من أعماله ومن المحاضر، محاضر الأكاديمية التي لا تحصى.

هكذا المحاضر. فيها كل حياة بتروف، وعلى الأقل تلك التي تتعلق منها بالعلم، وحتى من أصداء حياته الشخصية.

ولد بتروف في 19 يوليو عام 1761 في مدينة أوبويان الصغيرة في عائلة كاهن. درس في مدرسة كنسية، ثم في «كوليكيوم»خاركوف - عهد الدراسات العليا، وبعد ذلك في دار المعلمين في سانت بطرسبورغ. وقد أبدى اهتماما خاصا بمادتي الرياضيات والفيزياء اللتين درسهما في ألتاي بعد التخرج في دار المعلمين.

تشهد المحاضر بأنه في عام 1795 أصبح بتروف ذو الأربعة والثلاثين عاما بروفسورا في أكاديمية سانت بطرسبورغ الطبية الجراحية. ولكي يشغل هذا المنصب اضطر لقراءة محاضرة «تجريبية»خاصة، أحدثت على ما يبدو انطباعا جيدا. وبدأ بتروف يبذل جهده لمحصول على أجهزة لغرفة الفيزياء في الأكاديمية. إن «تقارير» بتروف، «وتصوراته»، و «رسائله» إلى رؤسائه تشهد في صفحاتها الباهتة على صراع شاق لا يوصف. وأحيانا يبدو أن جميع هذه الوثائق صرخة في واد. وحماسة بعض الأسطر دليل يأس الإنسان الذي ليس في وسعه أن يحطم جدران قلاع الجمود.

تعاملوا بوجه عام مع الفيزياء آنذاك بعدم ثقة كبيرة. وعدوا العلوم الفيزيائية تشجع على رفض قصة خلق العالم، والطوفان وغيرها من الوقائع الحقيقية، التي حفظت لنا الكتب المقدسة ذكراها.

وها هي «التقارير»تظهر أحيانا مسحات أستاذيته. فقد حصلوا من غرفة التشريح على بعض أول الأجهزة، ثم توقفوا - ويالها من فرحة!-في الحصول على أموال لطلبية الأجهزة وحتى على اكتتابها من الخارج. واشترى بتروف بعض الأجهزة الفيزيائية من أرستقراطيي بطرسبورغ، اللاهين بالعلوم (كان هذا دارجا في زمن كاترين التي عشقت مثلا التجارب الكهربائية. ثم زالت هذه الموضة، فكان الأرستقراطيون سعداء ببيع ألعابهم الغالية الثمن).

كان عناء بتروف بسبب إنشاء غرفة الفيزياء على أشده عندما أصبحت معروفة في سانت بطرسبورغ تجارب فولت التي أدت إلى اختراعه لمنبع جديد لا نظير له حتى ذلك الزمن للكهرباء - عمود فولت. وشعر بتروف ببداهة أهمية الأبحاث بعمود فولت. يدل على ذلك التقرير الموجز الذي أعده بتروف لمؤتمر الأكاديمية: ففيه إثبات للضرورة اللازمة لامتلاك عمود فولت في الأكاديمية، لكي يصبح بالإمكان إجراء «التجارب التي أخذ الآن الكثير من الفيزيائيين الأوروبيين يقومون بها أكثر بكثير مما في السابق».

ويظهر أن الطلب كان له صدى مقنع، لأنه في قرارات المؤتمر ثمة فقرة عن تخصيص 300 روبل لاحتياجات غرفة الفيزياء، منها 200 روبل خصصت لطلب «جهاز غلفاني» مؤلف من 200 حلقة توتيائية ونحاسية، قطر كل منها نحو 25 سم. وخصصت بقية الأموال «لأجهزة بلورية، ذات إطار نحاسي وقاعدة لإسنادها (للحلقات) وصندوق من خشب الماهوجني بألواح خاصة لوضع الأجهزة كل على حدة».

كان هذا العمود الصغير نسبيا في جوهره تكرارا للأعمدة التي بنيت في أوروبا حتى ذلك الزمن. ولم ترض بتروف الأبحاث على هذا العمود، فقد أدرك العالم أن تكبير العمود يجب أن يؤدي ليس إلى ازدياد كمي للأثر فحسب، ولنقل إلى ازدياد طول الشرارة، بل إلى اكتشاف جديد مبدئيا أيضا. ولذلك أخذ بتروف يقنع رؤساءه بكل الوسائل الممكنة لتخصيص أموال لعمود ضخم لم ير في مكان من العالم قبل ذلك. و... نجح في ذلك.

إن «البطارية ذات الحجم الضخم»، المصنعة بتصميم بتروف، تتألف من 4200 حلقة من النحاس والتوتياء، أي أكبر من العمود الأول بعشرين مرة في عدد الحلقات. يبلغ الطول الكلي للعمود 12 مترا. نفذ تنفيذا غريبا، يقع العمود في عدة صناديق من خشب الماهوجني، تتصل مع بعضها البعض بسلك من صنع بتروف نفسه وتنفصل عن بعضها البعض بوساطة شمع أحمر. إن هذا العمود هو بلا شك أضخم عمود في العالم في ذلك الوقت، وأكثرها تطورا. وبفضل التصميم الممتد لم تضغط الحلقات المعدنية الثقيلة السائل الذي امتلأت به حلقات الورق الفاصلة بين عنصري التوتياء والنحاس. إن انضغاط السائل بالذات في الأعمدة المنتصبة المستخدمة حتى ذلك الوقت عرقل إنشاء بطاريات ضخمة خاصة. وإن الحل الذكي الذي وضعه بتروف فتح أمامه الطريق لبناء عنصر لم يعرفه العالم بعد- «البطارية الأكثر ضخامة».

وبالمناسبة، كيف كان بالإمكان تقدير «استطاعة» العمود آنذاك، فلم يكن وقتئذ جهاز لقياس التيار الكهربائي، فبعد 30 سنة سيكتشف فارادي المبادئ التي اعتمد عليها مقياس الفولت (الفولتمتر) ومقياس الأمبير (الأمبيرمتر) المعروفان لدينا. فكيف استطاع بتروف مثلا أن يتكلم عن أن لديه البطارية «الأكثر ضخامة» والقادرة على إنتاج «أعمال قوية ملحوظة»؟ اتضح أنه

استعمل إصبعه الخاص مقياسا حساسا للفولت، فقد اقتطع الجلد من إصبعه وأدنيت الأسلاك المعراة مباشرة من الجرح المفتوح؛ فكلما كان ذلك أشد إيلاما كانت البطارية أقوى.

نجحت التجارب الأولى. وكانت البطارية قوية إلى درجة أن الشرار الناشئ عند انقطاع دارة البطارية لم يستطع أن يختفي عن أعين بتروف المنتبه. وإذا وضع في مكان الانقطاع قطع من الفحم فستشتعل بينها «شعلة مضيئة كبيرة أو صغيرة».

هاهو ذا أول ذكر في العالم لإمكان استخدام الضوء الكهربائي! ومن هذه التجارب ولدت أمسياتنا الهادئة المضاءة إضاءة مريحة وناعمة، وشوارعنا الليلية المتلألئة، التي ترى، كما روى رواد الفضاء، حتى من قمرة المركبة الفضائية السارية على ارتفاع مئتي كيلو متر في الفضاء البارد المظلم.

وضع بتروف بداية صب المعادن بالكهرباء في أفران القوس الكهربائية، بالإضافة إلى علم الفلزات المتطور نسبيا حتى بالمفاهيم المعاصرة؛ فقد عرّض بتروف لتأثير القوس الكهربائية ليس الأكاسيد البسيطة فحسب، بل خليط المواد الأولية من أكاسيد المعادن مع الكربون أيضا.

بيد أن الملاحظات والاكتشافات التي أمل بتروف منها أن تجلب الفائدة للناس، بقيت غير معروفة وغير مفيدة. وعمليا فهل يمكن أن يتصور المرء مأساة لإنسان مبدع أكثر من هذه.

الأسباب عديدة. أحدها: أن بتروف كتب جميع أعماله باللغة الروسية. ورأى بروفسورات بارزون كثيرون، تأملوا فيما بعد موضوع بتروف الفذ، أنه لو كانت أعمال بتروف مكتوبة باللغة اللاتينية لأصبح فورا فيزيائيا مشهورا على النطاق العالمي. وثانيها: انخفاض المستوى العلمي العام في روسيا في ذلك الزمن. وثمة سبب آخر هو: «التسلط الألماني» على أكاديمية سانت بطرسبورغ.

تشهد وثائق الأكاديمية، أنه في عام 1802، والضبط في زمن الأعمال التي أدت إلى اكتشاف القوس الكهربائية، تقدمت جماعة الأكاديميين الروس في أكاديمية سانت بطرسبورغ باقتراح لانتخاب فاسيلي بتروف البروفسور في الأكاديمية الطبية الجراحية عضوا مراسلا للأكاديمية. وقد وقع على

ذلك الاقتراح الأكاديميون سيفيرغين، وزخاروف، وأزيراتسكوفسكي وغوريف. ومع أن الأكاديمي بقسم الفيزياء كرافت رفض التوقيع على العرض، إلا أن بتروف قد انتخب.

لم يستكن الأكاديمي كرافت والمجموعة الألمانية كلها بصورة عامة، وأخذوا يعرقلون عمل بتروف في الأكاديمية بجميع الوسائل. وأول ضربة أنزلتها المجموعة الألمانية كانت بالكتاب «عن التجارب الغلفانية - الفولتية». فعندما خرج الكتاب من المطبعة أبى الأكاديمي كرافت، وهو نفسه ليس فيزيائيا متمكنا، أن يقدم كتاب بتروف الجديد لأكاديمية العلوم، كما جرت العادة.

نشر كرافت عام 1805 مقالة في «ملحق المجلة التقنية لأكاديمية العلوم» قدم فيها بتروف لا بوصفه أول مكتشف للقوس الكهربائية، بل بوصفه مجرد ميكانيكي للورشات الأكاديمية لأستاذ لا أكثر. ولم ينوه في المقالة بكلمة واحدة بكتاب بتروف، الذي صدر قبل ذلك بسنتين، وأن القوس الكهربائية قد وصفت فيه.

أقدم كرافت وجماعته على جميع الخدع لكيلا يسمحوا لبتروف بممارسة النشاط الأكاديمي. وفي عام 1807 فقط حصل العضو المراسل المنتخب منذ خمس سنوات على أول منصب أكاديمي: «العناية بغرفة الفيزياء والمحافظة عليها في ترتيب ملائم بالاشتراك مع الأكاديمي كرافت».

ولم تنته محن بتروف بموت كرافت عام 1815. فالسكرتير الدائم للأكاديمية فوكس والأكاديمي المنتخب من جديد باروت (الذي يقوم بالرعاية الخاصة للإسكندر الأول)، والذي رأس«الجماعة الألمانية»، لم يكفا عن محاربة بتروف، فأظهراه حارسا مهملا لغرفة الفيزياء، واتهماه مثلا، بإضعاف المغانط الاصطناعية في الغرفة أثناء رئاسته لها!

«أخبار» بتروف العديدة، المحفوظة في أرشيف الأكاديمية، ملأى بتبرئات من الاتهامات غير المعقولة. «السنة الأولى، كتب الأكاديمي الجديد في تقريره، زاعما أنه لا يوجد في غرفة الفيزياء مقياس للضغط الجوي (بارومتر)، ولكنني أؤكد أن ذلك الأكاديمي رأى ثلاثة مقاييس للضغط الجوي..

السنة الثانية، أشار الأكاديمي الجديد إلى أنه لا يوجد في غرفة الفيزياء مقياس للحرارة، ولكنني أؤكد أنه رأى ثلاثة مقاييس للحرارة..».

وهكذا، ومن دون نهاية. انتهت المطاردة التافهة التي استمرت سنين عديدة، بتعيين باروت رئيسا لغرفة الفيزياء، وطلب من بتروف تسليم مفتاح الغرفة إلى السكرتير الدائم للأكاديمية فوكس.

حاول بتروف أن يقاوم، ولكن رئيس الأكاديمية أمر «بفتح غرفة الفيزياء بوساطة قفّال».

وهكذا انقطع النشاط الأكاديمي للتقني الكهربائي الأول. وتوفي فقيرا. ولم تحرز التقدير منجزاته العظيمة، الكاشفة مع السنين حدودا جديدة، إلا الآن.

إن المناقشات الواسعة التي انتشرت في الخمسينيات من قرننا بصدد ما سمي «صورة ف. ف. بتروف»أحدثت اهتماما. ويؤكد الأكاديمي س. ي. فافيلوف أن أبناء العالم ف. بتروف قد حفظوا لزمن طويل صورة صغيرة له مرسومة بالألوان المائية.

ثم اكتشف الرصيد الاحتياطي لمتحف الإرميتاج الحكومي لوحة مائية بقياس 8 X 10سم، مال البحاثة إلى اعتبارها تلك «الصورة لـ ف. ف. بتروف» نفسها.

ومؤخرا استشهد أنصار تأكيد أن هذه هي صورة ف. ف. بتروف، بمثابة أدلة، فضلا عن تلك المرتبطة بالاعتبارات الإثنوغرافية والإنثروبولوجية والسيرية، كذلك بأدلة ذات طابع تاريخي علمي أيضا.

وهكذا كتب أ. ي. ليوشين في مقالته المنشورة عام 1980 في مجلة «أسئلة التاريخ للعلوم الطبيعية والتقنية»: «أي تجربة فيزيائية تشاهد على اللوحة؟ رُسم على صور علماء ذلك الوقت أشياء مرتبطة بأوفر مساهمة ملموسة لذلك العالم في العلم. درس بتروف، كما هو معلوم، الظواهر الكهربائية، خاصة القوس الكهربائية. فحدد القوس الكهربائية باعتبارها «ظاهرة ناقلة للضوء بوساطة السائل الغلفاني - الفولتي. . واشترط، كما يبدو، أنه في إنشاء السائل الغلفاني - الفولتي» تشترك عناصر مختلفة الإشارة. وقد استطاع تماما أن يهدف إلى «شطر» السائل الغلفاني - الفولتي. ومن المحتمل أنه استخدم لأجل ذلك ذراع ملقط. ولكي يخرج الشحنات من الذراع استخدم مغناطيسا (وهو ليس متوضّعا على اللوحة بصورة صحيحة- يمكن أن يكون هذا أسلوب الرسام، لكي يظهر المغناطيس بصورة أفضل).

ومن أجل تأمين تيار السائل الغلفاني-الفولتي يحمي بتروف إحدى نهايتي الذراع بوساطة فتيلة مصباح. وعلى اللوحة لا يظهر العمود الفولتي-منبع التيار. هل هذا خطأ الرسام أو ابتكار لبتروف؟.. يمكن أن يتصور المرء عدة نماذج لتجربة فرضية لـ ف. ف. بتروف: البحث عن الظواهر الكهربائية الواقعة تحت تأثير الحرارة، أو محاولة «تقسيم الشحنات» بوساطة المغناطيس إلى آخره. ولا يستطيع إعداد مثل هذه التجربة الفيزيائية الدقيقة إلا العالم المدرك إدراكا عميقا لجوهر العمليات الفيزيائية التابعة للظواهر الكهربائية. مثل هذا الفيزيائي في روسيا وبحدود القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لم يكن ممكنا أن يكون إلا بتروف وحده، فقد اشتغل بمثل هذا النوع من الأبحاث سنين عديدة. وعلى ما يبدو، هو نفسه المرسوم على اللوحة بالضبط..»

الدليل الرئيسي لـ أ. ي. ليوشن في صالح صحة الصورة هو«دقة التجربة الفيزيائية»، التي استطاع أن ينفذها «ف. ف. بتروف وحده». وفي الحقيقة، إذا أمكن إثبات أن ذلك الإنسان المرسوم على اللوحة في نهاية القرن الثامن عشر والذي يجري تجارب موجهة للبحث عن علاقات للكهرباء، والمغناطيسية والحرارة، دل هذا على الأقل، وبلا ريب على «طلب» اكتشافات مهمة للمصور أجراها فيما بعد إرستيد، وفارادي، وجول، ولانس، مما أمكن أن يصبح دليلا مهما في صالح أن الشخص الذي صوره الرسام هو ف. ف. بتروف بالذات.

إذن، يجب قبل كل شيء أن يدقق ما هي الأشياء الموضوعة على المنضدة، وكيف اقترنت إلى بعضها. يسمي ليوشن أول تلك الأشياء «المغناطيس». هل كان عند بتروف في المختبر مغانط؟ يستحق الاهتمام في هذا الصدد الحقيقة التالية المذكورة في «المجلة العامة لعلم الطب».

ففي عام 1795 أخذ ف. ف. بتروف من غرفة التشريح التابعة للجنة الطبية الحكومية عددا من الأجهزة الفيزيائية ومن بينها - سكمية مشهورة من الأجهزة البصرية، وآلة نيران بخارية نحاسية يبلغ ثمنها 1000 روبل على الأقل، وكذلك كل المغانط تقريبا مع بعض الأجهزة». تحفظ هذه المغانط (أو المغانط من هذا النوع) في الوقت الحاضر في متحف م. ف. لومونوسوف الحكومي. يختلف «مغناطيس» اللوحة عن مغانط المتحف اختلافا شديدا،

إن المغانط «الثانية» قبل كل شيء أضخم. فشكل الهيكل الدقيق، «لمغناطيس» اللوحة، وبحكم الكتلة المغناطيسية الصغيرة، لا يبدو منطقيا بالمقارنة مع المغانط الطبيعية. إذ يجب أن تكون بقدر الإمكان أضخم.

ولنركز الانتباه الآن على الخواص الأخرى للصورة، التي توصل المؤلف إلى فكرة عن «تفرد» التجربة. فقبل كل شيء هنالك «ذراع الإمساك»، «والقنديل الكحولي»، و«الحامل» و«القواعد». ومن أجل إعطاء تفسير لهذه الأشياء لنمض من النقيض ولنفترض أن المرسوم على اللوحة ليس الأكاديمي ف. ف. بتروف الذي أجرى «تجربة فريدة»، بل عالم ما غيره أو ميكانيكي أو أخيرا وببساطة هاو يهتم بالعلم.

لابد من القول إن الولع بالأجهزة الفيزيائية في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر كان موضة ثابتة بصورة متينة. وقد أصبحت آلات الكهرباء، الساكنة وعلب ليدن منذ زمن اكتشافات أ. غيريك وب. موشنبريك خاصة ضرورية للتسلية الدنيوية. وساعد في ذلك النجاحات المتحققة في دراسة الكهرباء في النصف الثاني من القرن الثامن عشر. كما أشار المؤرخ المشهور الفيزيائي ف. روزنبرغر، إلى «أن الظواهر العجيبة للضوء الكهربائي، والصدمة الكهربائية، وتفسير البرق، والاستخراج المباشر للكهرباء من المحيط الجوي تثير حماسة عامة، حتى أكثر مما أثارت تجارب غيريك منذ مائة سنة. وتشيع في أوسع الأوساط الرغبة في التعرف على الظواهر الكهربائية الجديدة وتجربة فعلها المدهش على النفس. ومن لم يوفق في ارتياد المخابر الفيزيائية، كهرب نفسه من أجل تحسين صحته على حسابه الخاص، رغم أن ذلك يتم في المعارض والمهرجانات الشعبية».

من المهم خاصة في هذا الاقتباس الإشارة إلى الشعبية الواسعة للتجارب الكهربائية التي جرت في تلك السنين، والتي كان من عناصرها الرئيسية اكتشافا علبة ليدن والآلة الكهربائية ذات القرص المسطح بين عامي 1745 - 1746، التي طورها عام 1766 الميكانيكي الإنجليزي جيسي رامسدين. وقد أزاحت آلة رامسدين بحكم بساطتها وفعاليتها آلات الكرات بسرعة، كآلة م. بلينكا، وسينو دي ليافون، ود. إنغنغاوز وغيرهم من المخترعين، وأصبحت عمليا المنبع الشهير الوحيد للكهرباء الساكنة في نهاية القرن الثامن عشر. وقد وصفت هذه الآلة بالتفصيل في كتاب م. غيويو «أحدث التسليات

الكهربائية» (عام 1799)، وهي تتكون من قرص زجاجي يدور بوساطة مقبض وموجه بسنادات جلدية. تسحب الشحنة من القرص بوساطة مسفرات التلامس (فحمات التلامس) المثبتة بذراع مأخذ قائم على ركيزة ومعزول عنها. والسنادات الجلدية على هيكل بشكل V.

فلنقارن وصف تلك الآلة مع خواص ما يسمى «صورة ف. ف. بتروف» لا مجال للشك في أن ما رسم على اللوحة هو آلة الكهرباء الساكنة لـ د.. رامسدين بالذات. إن ذلك الذي يعده أ. ي. ليوشن «ذراع الإمساك»، على ما يبدو، عبارة عن ذراع المسفرات، والمغناطيس - هو الهيكل الذي ثبتت عليه السنادات، «والحامل» و«القواعد» - هي الحوامل العازلة لآلة رامسدين، و«المقبض»: هو المساكة التي بوساطتها يدور القرص الزجاجي. على اللوحة لا يلاحظ القرص الزجاجي نفسه، فعلى ما يبدو، اتضح للرسام أنه غير قادر على حل مسألة معقدة كرسم شيء شفاف مسطح. ولعل الألوان المائية في ذلك الزمن قد بهتت والميزات الرائعة للقرص الزجاجي قد ضاعت في اللوحة؟ ويجدر بنا أن نتذكر كذلك أن قياس الصورة ليس كبيرا: 10 x 7 سم.

وإذن فالتجربة الفيزيائية المرسومة على اللوحة ليست فريدة تماما إلى هذه الدرجة. فهي تنحصر في شحن علبة ليدن بوساطة آلة رامسدين. وليس العالم وحده الذي يستطيع أن يحقق مثل هذه التجربة، بل كل وجيه نال تعليما مناسبا أيضا. وخصوصا أن الكونت بوتورلين كان قد باع مجموعة غنية من الأجهزة الفيزيائية التي يقتنيها لـ ف. ف. بتروف بالذات. ولعل هذا الظرف يساعدنا على كشف سر الصورة؟ فلنحاول أن نمضي بهذه الطريق أيضا.

يوجد في قائمة الأجهزة، التي اشتراها بتروف لأجل غرفة الفيزياء في الأكاديمية آلة كهربائية أيضا. ويمكن أن يتصورها المرء من الوصف الموجز التالي:

«أطلع البروفسور الرياضي السيد بتروف مؤتمر هذه الأكاديمية، على أنه بين الأدوات المشتراة من الكونت بوتورلين، والتابعة لأكاديمية سانت بطرسبورغ الطبية الجراحية يوجد آلة كهربائية لها حلقة زجاجية قطرها 40 بوصة إنجليزية، أما الموصل النحاسي فطوله 5 أقدام وقطره 5 بوصات».

إن أبعاد الآلة المشتراة من بوتورلين أكبر بكثير من أبعاد الآلة المرسومة على الصورة. وإذا كانت آلة بوتورلين فريدة على الأقل بأبعادها، ويمكن أن يكون من السهل نسبيا مماثلتها، فقد رسم على اللوحة بلا شك آلة عادية «مخصصة للاستهلاك الواسع»، ومصنعة بكميات كبيرة. إن هذه الآلة القياسية وآلة الكهرباء الساكنة الفريدة ذات القياسات الضخمة لا تذكرنا بالآلة التي صممها بتروف بنفسه عام 1804. وعلى هذا الأساس يبدو أن «صورة الأكاديمي ف. ف. بتروف» تبقى حتى الآن أيضا أحد الألغاز التاريخية العلمية الممتعة.

لنحاول أن نجيب عن السؤال: «هل كان ف. ف. بتروف بوجهات نظره، وبمساعدة التجهيزات التي كانت عنده كذلك قادرا على أن يجد ارتباطا متبادلا للكهرباء مع المغناطيسية، أي أن يحقق تجربة إرستيد؟

عرفنا أنه كان تحت تصرف بتروف عمود فولتي ذو استطاعة فريدة. هل كان في مختبر بتروف إبر مغناطيسية؟ تدل معطيات الأرشيف على أن بتروف اشتغل في عام 1818 على إعادة تنفيذ تجارب موريكيني، التي قام بها عام 1812، والتي أحدثت ضجة، على زعم بأنه نجح فيها بكشف تمغنط الإبر الحديدية والفولاذية بوساطة الأشعة البنفسجية. كرر بتروف هذه التجارب، مجربا كمية كبيرة من الإبر والقضبان الحديدية والفولاذية، ولكنه لم يحصل على إثبات لارتباط المغناطيسية بالضوء. ولعل هذا، زاد مذهب الارتياب والشك عنده بالنسبة لوحدة قوى الطبيعة. ومع أنه عد هذا الموضوع مهما لدرجة أنه عرضه على أكاديمية سانت بطرسبورغ بوصفه مسابقة مقترحة.

بهذه الطريقة كان لدى بتروف جميع المستلزمات «التقنية» اللازمة لاكتشاف قانون التحريض الكهرطيسي (الكهربائي - المغناطيسي): عمود فولت، والأسلاك التي وجد من أجلها طريقته في العزل (بالشمع الأحمر)، والإبر المغناطيسية. فقد آمن بوحدة قوى الطبيعة، مع أنه تطلب من التجارب في هذا الاتجاه إقناعا أكثر. وعلى كل حال كان الاكتشاف من نصيب إرستيد، الذي اتبع مبادئ التعلق والارتباط المتبادل المقتبسة من فلسفة شيلينغ. بحث العالم الدانماركي بإدراك عن هذه العلاقات. إضافة إلى ذلك نفسه كان تمتعه بالشباب لصالحه-فقد بلغ بتروف في سني الاكتشافات

الكهربائية العظيمة الستين وعمليا فقد بصره.

استعمل المجتمع من التراث العلمي لـ ف. ف. بتروف ما احتاج إليه فقط، فلم تكن الكهرباء في ذلك الوقت مجالا للاستخدام العلمي بعد، وأبحاث الكهرباء لم تستمر في روسيا. إن الوسط المعادي للعلم الذي لم يوجد فيه خلف بتروف، من يتابع تجاربه، نسيه أيضا بسرعة. وقد تسبب ذلك بالطبع في أن كتب بتروف أيضا ومن بينها الكتاب المشهور «الأخبار...»، طبعت في مطبعة الأكاديمية الطبية الجراحية بعدد محدود من النسخ باللغة الروسية.

ولكن هل بقي ما عمله بتروف لروسيا وللعلم منسيا؟ رغم أننا لم نجد في الأرشيف أدلة جلية لاستخدام أعمال بتروف، فلم يكن ممكنا أن يكون العمل العلمي والاكتشافات على هذا النطاق عديمة الجدوى.

كتب الأكاديمي ف. ي. فيرنادسكي متطرقا إلى دور ف. ف. ظروف في تطور العلم الروسي: «... نشر بتروف، بالمناسبة، أول وصف لما يسمى القوس الكهربائية منذ 20 سنة قبل الاعتراف الحقيقي باكتشافه. ومازالت تجاربه تنتظر تقديرا. ومازالت حتى الآن عادلة إشاراته التي عزف بها بنشاطه، عندما كتب: «أنا روسي بالفطرة، لم أحظ بفرصة دراسة شفهية على يد بروفسورات الفيزياء الأجانب، وبقيت حتى الآن مجهولا تماما بين معاصرينا المحبين لهذا العلم». ولكن بالنسبة لنا قد أصبح... واضحا، أن وجود مثل هذا العمل في وسط المجتمع الروسي كان حقيقة ثقافية مهمة مؤثرة بلا شك في النمو وفي التكوين العام لحياته الثقافية، رغم أننا لم نستطع أن نحدد ذلك بالضبط من خلال «الوثائق التاريخية» و«مقتطفات الماضي المصادفة»». وقد كتب ف. ف. بتروف فيما مضى «أن الفيزيائيين المستنيرين والمنصفين سيوافقون في المستقبل-على الأقل - على أن يعيدوا لأعمالي ذلك الإنصاف، الذي تستحقه أهمية هذه التجارب». حان الوقت الآن للاعتراف بهذا.

عندما لا تكشف الأسرار، بل تُمنح

عندما أرسل البروفسور من كوبنهاغن هانس كريستيان إرستيد، ذو الثلاثة والأربعين عاما، لزملائه «كراسته» التي أصبحت فيما بعد ذائعة

الصيت - أربع صفحات صغيرة باللغة اللاتينية - واستطاع العديد من العلماء المندهشين في فرنسا، وسويسرا، وإنجلترا، وروسيا أن يتعرفوا عليه، وقفت أمامهم فضلا عن المشكلات العلمية، مثل هذه المسألة أيضا: كيف نعامل مؤلف هذه الصفحات، وكيف نقدر عمله؟

لنعد مئتي سنة إلى الوراء ولنتصور الجزيرة الدانماركية البعيدة لانغيلان، والمدينة الصغيرة المسماة رود كوبينغ وعائلة الصيدلي الفقير، التي ولد فيها هانس كريستيان. اقتفت الحاجة أثر العائلة، واضطر الأخوان هانس كريستيان وأنديرس أن يتلقيا التعليم الإبتدائي أينما اتفق: علمهما حلاق المدينة وزوجته الدانماركية اللغة الألمانية، وكشف لهما قواعد علم النحو والصرف راع لكنيسة صغيرة، وعرفهما بالتاريخ والأدب وأودعهما مساح أرض أسرار الجمع والطرح، وحدثهما طالب متجول لأول مرة عن أشياء مدهشة عن خواص المعادن، وأيقظ فيهم حب الاستطلاع وعودهم على حب الرائحة العطرية للسر.

اضطر هانس في الثانية عشرة من عمره أن يقف خلف منصة البيع في صيدلية أبيه. وهنا أسره الطب لزمن طويل، منميا فيه حب الكيمياء، والتاريخ، والأدب، وعزز ثقته بتخصصه العلمي. فقد قرر أن يلتحق بجامعة كوبنهاغن، ولكنه لا يعلم أي علم يفضل. أقبل إرستيد على كل شيء: على الطب والفيزياء وعلم الفلك والفلسفة والشعر. تولع الشاب بكل شيء دفعة واحدة وبكل شيء بصورة جدية. وأصبح أخوه الذي لحقه إلى كوبنهاغن والذي درس الحقوق، ظله الثابت الذي يفهم كل شيء ويشعر بكل شيء. وقد حفظت ذكريات للمعاصرين عن تنزه الأخوين أياما عديدة يمسك كل منهما بذراع الآخر في الرياض الخضراء لأفنية الجامعة أو جلوسهما على مراقي الإئنية القديمة، وفي قاعات المحاضرات المدوية، معزولين عن كل من حولهما، مستغرقين في أحلامهما. كانت خدمتهما الأولية للعلم تنتسب لطفولة صوفية ما، مناسبة بهذه الدرجة لتلك الجدران الديرية والمناسك الباردة ذات النوافذ السهمية.

كان هانس سعيدا ضمن جدران الجامعة، فقد كتب فيما بعد، أنه لكي يكون الفتى حرا تماما، ينبغي عليه أن يستمتع في المملكة الكبيرة للأفكار والتخيلات، حيث يوجد الصراع، وأن يبدي رأيه حيث توجد الحرية، يعطى

المنتصر الحق بأن يثور ويكافح من جديد. وقد عاش غير مستسلم أمام المصاعب وفخورا بأولى انتصاراته الصغيرة، ومعرفة الحقائق الجديدة وإزالة الأخطاء السابقة.

إن مؤهلات الشاب إرستيد مدهشة. فقد منح عام 1779 الميدالية الذهبية للجامعة بسبب محاولة في «صفحات شعر ونثر» وعمله التالي، المقدر تقديرا عاليا كذلك والمكرس لخواص القلويات، وأما الأطروحة، التي بفضلها حصل على لقب دكتور فلسفة فقد كانت بالطب.

حلت مائة سنة جديدة. فقد ولد في غضون زوبعة الثورة الفرنسية، وفي ساحات قتال الحرب الأمريكية من أجل الاستقلال، إدراك جديد للعالم، وتنقية للعقول والنفوس من العقائد الجامدة المستقرة، واجتذب ريح الحرية الشباب. وأغرق الانقلاب الصناعي الذي بدأ عالم التقنية التقليدي بسيل لا ينتهي من الاختراعات العملية الجديدة. وقد اشتهر القرن التاسع عشر بشكل جديد للحياة والعقلية، بأفكار اجتماعية وسياسية جديدة، فلسفات جديدة، بفهم جديد للفن والأدب. وقد أسر كل ذلك هانس، فسعى إلى ذلك المكان الذي تعصف فيه الحياة، وتحل المسائل العلمية والفلسفية الرئيسية، إلى ألمانيا وفرنسا وغيرهما من البلدان الأوروبية. كانت الدانمارك بهذا المعنى ريفا لأوروبا، ولم يستطع إرستيد ولم يرد أن يبقى هناك. فقد بحث عن تصورات، وبحث عن أصدقاء جدد.

تضافرت موهبته ومثابرته، وفي النهاية المصادفة، في ضفيرة سعيدة، وها هو يلمع في دفاعه عن الأطروحة فترسله الجامعة إلى دورة تمرين سنوية إلى فرنسا وألمانيا وهولندا. إنه الآن فيلسوف أكثر منه فيزيائي. فمعظم أصدقائه الجدد من الفلاسفة. وقد أمضى وقتا طويلا في ألمانيا. واستمع هناك إلى محاضرات فخته عن إمكانات بحث الظواهر الفيزيائية بوساطة الشعر، وعن ارتباط الفيزياء بالميثولوجية. وأعجب إرستيد بمحاضرات شليغيل، ولكنه لم يستطع أن يوافق على التأكيدات عن ضرورة التخلي عن البحث المباشر والتجريبي للظاهرة الفيزيائية. وقد أدهشه شلنغ، كما أدهشه من قبل هيغل. وفتنته موضوعة الترابط العام للظواهر، إذ رأى فيها مبرر أو معنى لتشتته الظاهر فكل ما درسه تبين، حسب هذه الفلسفة، أنه متبادل الارتباط ومتبادل الشرطية. وقد أصبح مولعا بفكرة

الترابط العام. ترابط كل شيء مع كل شيء.

وجد بسرعة شريكا له في الرأي، واسع الاطلاع بقدر ما هو رومانسي. كان هذا هو الفيزيائي ريتر، مخترع المدخرة، والعبقري الخيالي، ومؤلف الأفكار المتهورة. عبّر ريتر في إحدى رسائله إلى إرستيد عن هذه الفكرة خاصة: إن سنوات الانحراف الأعظمي لدائرة البروج تتطابق، في رأيه، مع سنوات أضخم الاكتشافات في مجال الكهرباء. وهكذا، فعام 1745 تميز باختراع علبة ليدن، وعام 1746 باختراع فيلكه جهازا لاستخراج الكهرباء الساكنة، وظهر في عام 1782 المكثف الكهربائي، وفي عام 1801 عمود فولت. وقد كتب ريتر: «تستطيعون الآن أن تحسبوا أن عصر الاكتشافات الجديدة سيحل في عام 1819 أو 1820، ويمكننا أن نكون شهودا له». إن مثل هذه التنبؤات تتحقق أحيانا، وإن لم يكن على نحو كامل أيضا. فقد تحقق هذا التنبؤ، وحدث الاكتشاف عام 1820، وقام به إرستيد، ولكن ريتر لم يتمكن من أن يكون شاهدا له. فقد توفي عام 1810.

إن موضوعة الترابط العام لم تمنح إرستيد الهدوء. فقد قادته القدرة الخارقة للعادة التي ميزته منذ الطفولة، إلى استكشافات جديدة. ففي عام 1813 ظهر في فرنسا عمله «أبحاث تشابه القوى الكيميائية والكهربائية». عبر فيه إرستيد عن فكرة ترابط الكهرباء الفولتية والمغناطيسية. إذ كتب: «ينبغي اختبار، هل تحدث الكهرباء... تأثيرات ما في المغناطيس... «كانت آراؤه بسيطة: تولد الكهرباء الضوء - الشرارة، والصوت-الفرقعة، وفي النهاية يمكنه أن ينتج الحرارة-تسخن علبة ليدن بوصل طرفيها بسلك. هل يمكن للكهرباء أن تنتج تأثيرات مغناطيسية؟ يقال إن إرستيد لم يبتعد عن المغناطيس. كان يجب على القطعة الصغيرة من الحديد أن تجبره باستمرار على التفكير في هذا الاتجاه.

شاعت فكرة ترابط الكهرباء والمغناطيسية في الهواء، وجذبت الكثير من خيرة عقول أوروبا. حتى إن الأكاديمي في سانت بطرسبورغ فرانس أولريخ تيودور إيبينوس أشار إلى تماثلهما، أما الفرنسي فرانسوا آراغو فقد أضاع عدة سنين لجمع القصص الغامضة عن السفن، والكنوز والظواهر السماوية غير المألوفة، التي شاهد فيها أيضا هذا الترابط الضائع لأول وهلة.

ظهر ذات يوم على فرضة بالمه، الميناء الرئيسي لمايوركا سفينة فرنسية حربية معطلة «ليا - رالين». وصلت السفينة بالكاد في مسيرها إلى المرسى. عندما نزلت القيادة على الشاطئ، مخلية الطريق إلى سطح السفينة لعدد من العلماء الفرنسيين ذوي المقام الرفيع، وبينهم آراغو ذو الاثنين والعشرين ربيعا، تبين أن السفينة قد حطمتها الصواعق. وفي حين كان أعضاء اللجنة يهزون رؤوسهم بالقرب من منظر السواري والأبنية العالية المحترقة، أسرع آراغو إلى البوصلات وهناك رأى ما توقع: أشارت إبر البوصلات إلى اتجاهات مختلفة..

بعد سنة، وأثناء البحث في أسباب تحطم سفينة جنوية منذ عدة أيام (تحطمت السفينة مصطدمة بالصخور قرب سواحل الجزائر)، اكتشف آراغو مجددا: أن إبر البوصلات قد زال تمغنطها. وقد وجه القبطان في الظلام الدامس لليلة جنوبية ضبابية سفينته حسب البوصلة، إلى الشمال، بعيدا عن المناطق الخطرة، وفي واقع الأمر تحرك حركة غير مرتدة إلى المكان الذي حاول أن يتفاداه بكل مثابرة. وأبحرت السفينة إلى الجنوب، مباشرة إلى الصخور، مهتدية بالبوصلة المغناطيسية المخادعة التي أصيبت بالصاعقة.

لم يكن عبثا جمع آراغو كل هذه الوقائع المتفرقة. فقد دلته على علاقة الصاعقة بالمغناطيسية. وخمن آراغو أنه في طريقه لاكتشاف ما.

الفرح والاستياء هما الإحساسان اللذان كما يبدو شعر بهما عندما علم أن حل المسألة الذي لم يتمكن منه زمنا طويلا قد عثر عليه إرستيد.

لعل مؤرخي العلم سيقفون طويلا أيضا جاهلين ظروف هذا الاكتشاف الغريب، الذي كاد يصبح الآن مثالا كلاسيكيا للمصادفة السعيدة. وحتى تاريخه الدقيق غير واضح. فباحثون ينسبونه إلى عام 1819، وآخرون إلى عام 1820. بعضهم يشك في أن إرستيد اكتشفه. وفي الواقع، أتاحت بعض الظروف الفرصة للإشاعات الكاذبة.

قرأ إرستيد الذي أصبح بروفسورا حائزا على لقب الجدارة في 15 شباط عام 1820، على طلابه محاضرات في الفيزياء. ووجد على طاولة المخبر عمود فولت، وسلكا لإغلاق دارته، ومشدات وبوصلة. وعندما أغلق إرستيد الدارة ارتعشت إبرة البوصلة ودارت باتجاه السلك. كان هذا أول

تأكيد مباشر لعلاقة الكهرباء بالمغناطيسية، وهو بالذات ما بحث عنه طويلا جدا جميع الفيزيائيين الأوروبيين والأمريكيين. وتبين أن حل المسألة بسيط للغاية.

ولكن لماذا احتدم فيما بعد إذن كثير جدا من المناقشات الحامية حول ظروف هذه الواقعة؟ يكمن الأمر في أن الطلاب الذين حضروا المحاضرة تحدثوا فيما بعد عن شيء آخر تماما. أراد إرستيد، حسب زعمهم، أن يعرض في المحاضرة مجرد خاصة مهمة للكهرباء في تسخين السلك. وربما كانت البوصلة نفسها قرب هذا السلك عن طريق المصادفة تماما. لاحظ أحد الطلبة الفطنين دوران الإبرة، أما تعجب البروفسور فقد كان صادقا. كتب إرستيد فيما بعد يقول: «جميع الحاضرين في غرفة الصف شهود على أنني أعلنت مسبقا نتيجة التجربة، والاكتشاف بهذه الصورة لم يكن مصادفة مثلما أراد البروفسور هلبرت أن يستخلص من تلك العبارات، التي استعملتها عند الإبلاغ الأول عن الاكتشاف».

كان انحراف إبرة البوصلة في التجربة التي أجريت في المحاضرة قليلا جدا، ولذلك فقد كرر إرستيد في تموز عام 1820، التجربة من جديد، مستعملا بطاريات أكثر قدرة. فأصبح التأثير محسوسا أكثر، زاد على ذلك أنه كلما كان السلك الذي أغلق به تماسات البطاريات أثخن كان التأثير أقوى(*). أوضح إرستيد فضلا عن ذلك شيئا غريبا لم يدخل في تصورات نيوتن عن الفعل ورد الفعل: «الأثر المغناطيسي للتيار الكهربائي له حركة دائرية حوله».

ما الذي أدهش العالم إذن؟ ولم يعدد الشهود في الكراسة ذات الصفحات الأربع بدقة، دون أن ينسى التذكير بجميع فضائلهم، وبينهم« لاوريتس إسمارخ، عالم بارز، فلييغل وزير العدل، شخص جدير حائز على وسام الدانيمارك، غاوك الذي استحق أسمى المكافآت، والذي ينتمي إليه مجد التعرف على العلوم الطبيعية في البلد.. رينخارد، بروفسور في التاريخ الطبيعي، ياكوبسون بروفسور في الطب، ويملك مهارة عالية في إجراء التجارب، تسييزي أكبر مجرب كيميائي دكتور في الفلسفة...».

ينحصر الأمر في أن إرستيد، بمعالجته للتجربة، قد أثار فكرة عميقة عن صفة الدوران للظواهر الكهرطيسية. إن «الشكل الدوار»للعملية يذكر

بوار الماء، والدوامة، والحلزون، والذي لم يجد أنصارا لفترة طويلة، وحتى فارادي لم يقدر في البداية هذا التخمين. وظل طويلا على يقين أن القوى المؤثرة في الأسلاك التي يمر فيها تيار والإبرة المغناطيسية، هي قوى الجذب والنبذ الخاضعة لقانون نيوتن.

لقد أثبتت تجربة إرستيد ليس فقط العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية. ولم يعدد إرستيد في «كراسته» الشهود عبثا. فقد كان ذلك الذي انكشف له لغزا جديدا لم يدخل ضمن إطار قوانين نيوتن ويخالف مباشرة القانون الثالث منها: فعند إرستيد كان اتجاه قوة التحريض للكهرباء (المحددة باتجاه السلك) واتجاه قوة رد الفعل للمغناطيسية (المحددة باتجاه الإبرة المغناطيسية) متعامدين. وشاهد العلماء المتجمهرون قرب طاولة مخبر إرستيد لأول مرة «رد فعل» و«فعلا» ليسا متعاكسين بالاتجاه.

ظهرت كراسة إرستيد إلى النور في 21 يوليو عام 1820. وتطورت الحوادث التالية بوتيرة غير عادية بالنسبة للعلم المتمهل آنذاك. وقد ظهرت الكراسة بعد عدة أيام في جنيف، حيث كان آراغو في ذلك الوقت في زيارة. وقد أثبتت أول معرفة له بتجربة إرستيد، أنه وجد حلا للمسألة التي بذل جهودا فيها هو وكثيرون غيره. كان الانطباع عن التجارب عظيما لدرجة أن أحد الحاضرين في العرض نهض وألقى باضطراب كلمة اشتهرت فيما بعد: «يا سادة يحدث انقلاب...».

عاد آراغو إلى باريس مصدوما. وأدلى بحديث شفهي عن تجارب إرستيد في أقرب اجتماع للأكاديمية في الرابع من سبتمبر عام 1820. تشهد التعليقات في المجلة الأكاديمية على أن الأكاديميين قد طلبوا من آراغو أن يعرض تجربة إرستيد في اجتماع 11 سبتمبر المقبل على جميع الحضور.

في الرابع من سبتمبر عام 1820 سمع بحديث آراغو، الأكاديمي أمبير، فامتقع لونه فجأة. لقد توجب عليه في تلك اللحظة أن يدرك أنه حان الوقت لكي يتسلم الاكتشاف من إرستيد على رؤوس الأشهاد ويتابعه. فبعد أسبوعين أدلى بحديث يدل على ولادة الديناميكا الكهربائية.

تطورت الحوادث باندفاع للغاية. فقد لاحظ آراغو في الخامس عشر من سبتمبر عام 1820، أن السلك الذي يمر فيه التيار يجذب برادة الحديد، فضلا عن أنه يمغنط الإبر الفولاذية الواقعة تحت زاوية قائمة بالنسبة له.

جاء أمبير إلى مخبر آراغو لمشاهدة هذه الظاهرة. ولدى رؤيته التجارب، افترض أن السلك يزيد تأثيره التمغنطي على الإبرة إذا لُف السلك لفا حلزونيا . وأدخلت الإبرة إلى داخل الحلزون إلى محوره. وطبقت الفكرة في الحياة فورا . فقد جهز آراغو وأمبير حلزونا، وأدخلا إلى مركزه إبرة مغروزة بقطعة ورق. ففاق النجاح كل التوقعات. إذ تمغنطت الإبرة أكثر بكثير من السابق. «ظهر قرب الحلزون السلكي، الذي مر به التيار، قطبان شمالي وجنوبي، كما عند المغناطيس الفولاذي الحقيقي. وفوق ذلك تجاذب حلزونان واندفعا كالمغناطيس».

هكذا اكتشف الملف اللولبي، وهو وشيعة لف عليها سلك ناقل يمر فيه تيار. كان الملف اللولبي أول مغناطيس كهربائي صممه الإنسان. وتستخدم الملفات اللولبية الآن أيضا استخداما متزايدا، مثلا، من أجل تحضير «الزجاجات المغناطيسية»، الحافظة للبلازما أثناء الأبحاث النووية الحرارية.

إن التشابه بين المغناطيس والملف اللولبي، الذي هو عبارة عن مجموعة كبيرة من اللفات الحلزونية التي يمرر فيها تيار، قاد أمبير إلى حدس عبقري: ماذا لو وجد ضمن المغناطيس عدد كبير من الدارات المصغرة التي يمر فيها تيار؟ أثبتت هذه النظرية الآن على نحو باهر. وهكذا حل عصر جديد في فهم المغناطيسية.

دخلت البشرية منذ اكتشافات إرستيد وآراغو وأمبير عصرا جديدا: عصر علم الهندسة الكهربائية، والإلكترونيات، ومحطات الكهرباء العملاقة والطيران في الفضاء.

انتخب إرستيد بعد اكتشافه عضوا في العديد من الهيئات العلمية ذات النفوذ الكبير، وبينها الهيئة الملكية اللندنية والأكاديمية الباريسية، ومنحه الإنجليز ميدالية كوبل، ونال من فرنسا منذ فترة طويلة جائزة يستحقها بقيمة 3 آلاف فرنك ذهبي، خصصها نابليون في وقت من الأوقات لمؤلفي أضخم الاكتشافات في مجالا الكهرباء.

لم ينس إرستيد، وهو يتقبل كل هذه التشريفات، أبدا أن العصر الجديد يتطلب إقبالا جديدا على التعلم. فقد أسس في الدانيمارك هيئة لتشجيع الدروس العلمية. وقام الملك فريدريك السادس الذي مدح بسبب مجد إرستيد الأوروبي بمنحه صليب دانيبورغ الكبير. وهو أعلى وسام، فضلا

عن سماحه بتأسيس معهد عال للتعليم البوليتكنيكي. وفي تلك السنين نفسها افتتح إرستيد مجلة أدبية، وألقى المحاضرات التثقيفية على النساء، وساعد «هانس كريستيان الصغير» بتلقيبه بالكاتب العظيم هانس كريستيان أندرسون. وقد قام بعشرات الرحلات الخارجية وأتقن اللغات الألمانية، والفرنسية، والإنجليزية، واللاتينية إتقانا باهرا، وألقى بها محاضرات في العلم والأدب.

انتهت حياته في التاسع من مارس عام 1851. فدفن في الليل. وودعه حشد من مئتي ألف إنسان، مضيئين الطريق بالمشاعل، إلى مثواه الأخير. وعزفت ألحان جنائزية مؤلفة خصيصا لذاكراه. وأدرك العلماء، والموظفون الحكوميون، وأعضاء العائلة الملكية، والدبلوماسيون، والطلاب، والمواطنون الخسارة العظيمة التي منوا بها بفقده. وقد كانوا معترفين بجميله لأشياء كثيرة. وليس لأجل ذلك فحسب، بل لأنه منح العالم أسرارا جديدة، أنشأ العلماء باكتشافها علم الهندسة الكهربائية المعاصرة.

أين أنت، أيها الغامض ب. م.؟

يوجد في لينينغراد متحف فريد، معروضاته آلات كهربائية تنتمي لمختلف السنين، متنوعة القياسات، والطرازات والغايات. عمر بعضها نحو مائة سنة. وإذا تجولت في قاعات المتحف، ولامست الملائكة البرونزية واللون الزهري على الآليات المصنوعة منذ زمن طويل، تأثرت فجأة بفكرة عجيبة: استمر تطور الآلات الكهربائية الذي ابتدأ عام 1831 بوتائر عاصفة، بضع عشرات السنين فحسب، ثم توقف. ومنذ ذلك الحين اكتسبت الآلة الكهربائية شكلا ما «أبديا»، لا يستطيع شيء التأثير فيه، كما يبدو. وفي النتيجة لم تختلف الآلات المصنوعة في نهاية القرن الماضي ظاهريا بشيء تقريبا عن أخواتها الأكثر حداثة.

ونحن إذ نفكر في ذلك، ابتدأنا بفرز الوقائع في الذاكرة، المتعلقة بزمن صنع أول الاكتشافات المدهشة التي كانت بمقدور من كان أكثر موهبة، وبراعة وصبرا فحسب. ويجب أن نذكر اسم مايكل فارادي من بين أوائل هؤلاء الموهوبين والبارعين والصبورين..

نذكر: أن الفيزيائي الألماني ريتر قد تنبأ في رسالته إلى نصيره إرستيد

عشية القرن التاسع عشر المقبل، أنه في عام 1820 ستصنع اكتشافات علمية بارزة. وتحقق التنبؤ، ففي عام 1820 اكتشف إرستيد الخواص المغناطيسية للتيار الكهربائي. وبعد عدة أشهر من اكتشاف إرستيد لاحظ آراغو التصاق برادة الحديد بالسلك الذي يمر فيه تيار. وبعد عدة أيام صنع أمبير وآراغو أول ملف لولبي. وحلت مسألة «تحولت الكهرباء إلى مغناطيسية». وظهرت مسألة أخرى هي: «تحويل المغناطيسية إلى الكهرباء».

يرجع الفضل في حلها إلى فارادي العظيم. لم يوجد شيء لذلك الإنسان سوى العلم. فقد كان شوقه الشديد جدا هو الآخذ لكل اهتمامه ووقته. كان باستطاعته أن يكون مليونيرا، باستثمار اختراعاته العديدة، إلا أن اهتمام فارادي بأجهزته كان يفتر منذ أن يهتم بها الصناعيون. كان الاشتغال بالعلم بالنسبة له أحسن مكافأة.

ولد مايكل فارادي في سبتمبر عام 1791. وعمل منذ سن الثالثة عشرة مجلدا للكتب، واهتم بحماسة بمضمون الكتب التي جلدها. وأولع خاصة بالأحاديث عن كيمياء «مارسا» والفصول المكرسة للفيزياء من«الموسوعة البريطانية». وحضر مايكل مرارا محاضرات العالم العالمي، المشهور همفري ديفي ومنذ ذلك الحين حلم بالعمل عنده.

في ديسمبر عام 1812 تشجع فارادي، وكتب لديفي رسالة يعلمه فيها أنه قرر الاشتغال بالنشاط العلمي. وطلب فارادي مكانا في المخبر. وأرفق الفتى بالرسالة، بمثابة برهان على جديته، ملخصا لمحاضرات ديفي التي سمعها، وبالطبع في تجليد ممتاز.

اتخذ ديفي من فارادي سكرتيرا (لم يستطع ديفي في ذلك الزمن لا القراءة ولا الكتابة، فقد جرحت عيناه بانفجار في المخبر). وعندما وجدت وظيفة شاغرة، أصبح فارادي مخبريا.

باشر فارادي بالتجارب فورا بعد اكتشاف إرستيد. وبعد سنة من العمل المثابر أنشأ ذلك الجهاز الذي كان بالفعل أول محرك كهربائي عامل أنشأه الإنسان[*1].

من الرسم الموجود في دفاتر عمل فارادي، الذي يذكر برسوم الأطفال، يتحدد تاريخ علم الطاقة الكهربائية كله. في هذا الرسم نماذج أصلية للمولدات الفائقة القدرة للمحطة الكهرمائية السيبيرية، ولمحركات سفينة

تعمل بمحرك ذري.. من هذا الرسم يبدأ تاريخ علم بناء الآلات الكهربائية.

كان التحقيق العلمي لرسم فارادي التاريخي أمرا بسيطا، فقد ثبت السلك على خطاف معدني، تقوم نهايته السفلية بالحركة الدورانية. ملئ الوعاء بالزئبق، وغمس فيه مغناطيس. وبما أن الزئبق موصل جيد فقد وصل الزئبق إلى أحد أقطاب منبع التيار، ووصل الخطاف بالآخر. وعند إغلاق الدارة يؤدي التأثير المتبادل لتيار السلك والمغناطيس إلى حقل كبير للسلك في إحدى الجهات، وحقل صغير في الجهة الأخرى، ولذلك يندفع السلك في مجال الحقل الأقل، ويبدأ المغناطيس بالدوران. كان ذلك في حقيقة الأمر، أول محرك كهربائي بناه الإنسان.

في عام 1827 أصبح فارادي بروفسورا في المعهد الملكي. ولم ينس مسألة تحول المغناطيسية إلى كهرباء. قام فارادي بالعديد من التجارب، وكتب أبحاثا دقيقة. وكرس لكل بحث صغير بندا في «أبحاثه التجريبية عن الكهرباء». إن قدرة فارادي على العمل تتحدث عنها على الأقل حقيقة أن آخر بند في «الأبحاث» كان برقم 16041.

لقد أدت المهارة الباهرة لفارادي المجرب وولعه إلى نتيجة. فبعد 11 سنة من إرستيد، وفي التاسع والعشرين من أغسطس 1831، تأكد، محركا بسرعة قلب الوشيعة الحديدي، من أنه في هذه اللحظة الوجيزة ينشأ في دارة الوشيعة تيار. لو لم يكن جهاز فارادي على مرأى منه أو من مساعده في تلك اللحظة نفسها التي أدخل فيها القلب الحديدي، فليس من المعروف كم من الوقت أيضا يجب عليه أن يبذل الجهود لحل مسألته.

في الوقت نفسه أجرى مثل تلك التجارب مع فارادي تقريبا أمبير العظيم. ولكي يتجنب أمبير الأخطاء التي تحدث من اهتزاز الجهاز وضع جهاز القياس، مثل فارادي أيضا، في الغرفة المجاورة. أدخل في البداية القلب الحديدي في الوشيعة، ومن ثم ذهب إلى الغرفة المجاورة ليرى هل ظهر التيار. وريثما ذهب أمبير من غرفة إلى غرفة خمد التيار الذي ينشأ فقط في لحظة الإدخال، عندما يتغير الحقل المغناطيسي، ولم يستطع أمبير أن يكتشف الأثر لكن فارادي نفسه استخدم مساعدا، في الغرفة المجاورة. وعند إدخاله للقلب الحديدي لاحظ المساعد انحراف إبرة الجهاز.

ونستطيع أن نكرر مرة ومرة مع هيلمغولتس: «وتعلق بهذه الظروف

العرضية اكتشاف عظيم!..»

بعد عدة أيام من اكتشاف التحريض الكهرطيسي بنى فارادي أول مولد كهربائي في العالم. من المهم جدا أن فارادي قد اخترع مولدا أحادي القطب، وهو أيضا الأشد تعقيدا حسب مبدأ عمله من كل المولدات المعروفة اليوم. وقد كان باستطاعة فارادي، وهو الأهم، الحصول على ذلك المولد نفسه قبل ذلك بعشر سنوات بالضبط. كان عليه أن يبدأ بنفسه بتدوير سلك محركه الأول حول المغناطيس، وليس الانتظار، ريثما يدور عند مرور التيار، فلو فعل ذلك لحصل على مولد كهربائي! لأنه من المعروف الآن لكل طالب أن المحرك الكهربائي والمولد الكهربائي يمكن أن يتحول أحدهما إلى الآخر بسهولة!

إلا أن فارادي لم يحزر أن يدور السلك حول المغناطيس. «وبصغائر الأمور هذه...» وهلمجرا، كما قال هيلمغولتس.

وبهذا الشكل، صنع فارادي بفاصل زمني هو عشر سنوات الاختراعين العظيمين اللذين يمكن القول بثقة إنهما حققا ثورة في علم الطاقة: لقد اخترع المحرك الكهربائي والمولد الكهربائي.

وكما يحدث غالبا، وجد لهذه الاختراعات، مدعون كثر، وقد سبق لفارادي عام 1821. عندما نشر نتائج التجارب لأولى محرك كهربائي، أن اضطر إلى خوض معركة لإحراز الأسبقية مع الزميل ولستون، الذي أعلن أن جميع هذه التجارب التي أجريت كانت بناء على كلماته وبالتوافق مع أفكاره.

أمبير أيضا ادعى الاختراع نفسه، ناشرا عام 1823 مادة عن تصميم مشابه.

وحالما طبع فارادي أعمالا عن التحريض الكهرطيسي، ثارت أيضا فضيحة أخرى. وفي هذه المرة ادعى التقني الأمريكي المعروف هنري والإيطالي كافاليري أنتوري الابتكار لنفسيهما. غير أن فارادي استطاع أن يثبت أن هنري وانتوري أجريا تجاربهما بعد أن سمعا عن تجاربه.

وبغض النظر عن أن فارادي لم يحرز تعليما رياضيا، فقد أرسى في أعماله أسس النظرية الكهرطيسية التي بينتها فيما بعد معادلات ماكسويل.

كان الإصرار العلمي عند فارادي مدهشا. «كل البشر ميالون للخطأ» - أحب العالم تكرار هذه الجملة، ولذلك فأثناء إجراء الأبحاث كان يختبر

نفسه وغيره ويعيد اختبارهما دون كلل.

أضر العمل المضني بصحة فارادي. فأنهى طريق حياته في هيمبتون - كورت، القصر الملكي السابق، حيث أقامت الملكة فيكتوريا في غابر الأزمان شيئا يشبه بيتا للمسنين من مشاهير الإنجليز.

يرقد جثمان الفيزيائي العظيم مايكل فارادي في مقبرة هايغيت، إلى جانب قبر كارل ماركس، وبهذا المقدار من الدقة قوّمت ثورية أفكار فارادي والآلات التي اخترعها.

كان المولد الكهربائي الذي اقترحه فارادي مبتكرا بالمقارنة مع مبدأ عمله، إلا أنه غير مريح في الاستخدام العملي. وفي أحسن الأحوال استخدم بوصفه زينة أنيقة في المخابر الفيزيائية. لم يخطر على بال أحد أن ظاهرة التحريض الذاتي، التي اكتشفها فارادي، وجدت طريقها للتطبيق العملي.

وهنا يظهر على المسرح شخص غامض مجهول هو ب. م. (P.M.). بعد عدة أسابيع من اكتشاف فارادي ترك في شقة فارادي بلندن سرا، تصاميم لمولد كهربائي غير عادي وغير متوقع أبدا في ذلك العصر. وكما كتب فيما بعد الأكاديمي م. ب. كوستنكو« ...كانت المزايا الأساسية لآلة ب. م. صحيحة لدرجة أنها حددت تصميم الآلات لسنين عديدة للمخترعين المتأخرين». فكأنه نظر لبضع عشرات من السنين القادمة وخلص الإنسانية من ضرورة إضاعة الوقت سدى.

من أنت أيها الغامض ب. م.؟ ففي قائمة أولئك الناس الذين وضعوا الكهرباء في خدمة الإنسانية، لم نستطع أن نضع اسمك..

كانت آلتا الإخوة بيكي (عام 1832) وف. ريتشي (عام 1833) هما التاليتين. والجديد في أعمال ريتشي هو إدخال المجمع والإشارة إلى إمكان استخدام المغانط الكهربائية في المولدات بدلا من المغانط.

كان إنجازا كبيرا ابتكار بروفسور الجامعة البيزانية أنطونيو باتشينوتي والنجار الألماني زينوفي غرام للقلب الدوار «الحلقي»، ثم إنشاء ف. غيفنر ألتنيك للقلب الدوار «الأسطواني» للآلة الكهربائية، اللذين في نهاية الأمر أوصلا الآلة - المولدة إلى شكلها الحديث. حدث هذا عام 1872. ومنذ ذلك الحين لم يتغير عمليا تصميم المولدات.

وهكذا كانت الحال فيما يتعلق بالمحركات تقريبا. وبما أن الناس لم

يعرفوا أن المحرك الكهربائي والمولد الكهربائي هما، في حقيقة الأمر، شيء واحد، فقد أعدوا تصاميم للمحركات على نحو منفصل عن تصاميم المولدات. وقد أثرت عادات بناة الآلات البخارية في الإعداد الأولي للمحركات الكهربائية. وقد كان للمحركات التي بناها د. هنري عام 1832 و أو. بيدجي عام 1864 أذرع مترجّحة وصمامات منزلقة، ومرافق وأذرع توصيل.

ابتكر في روسيا اكتشاف عظيم الأهمية. لقد أدرك الأكاديمي الروسي إميلي كرستيانوفتش لانس خطأ فارادي، عام 1833، في الفصل بين المحرك والمولد. وأثبت لانس أن الآلة الكهربائية تعمل محركا أو مولدا، وهذا عائد لرغبة الإنسان الذي يديرها. وصل لانس عام 1838 مولدا «عاديا» إلى عمود فولت. فبدأ المولد فورا يدور بدقة كما لو كان محركا كهربائيا. «كان الدوران قويا لدرجة أن الدولاب والترس والقبضة، المخصصة لمواصلة الحركة في تلك الآلات، دارت معا وبسرعة إلى حد ما».

مع الأسف، وكما يحدث غالبا إلى حد ما في تاريخ العلم، ترك اكتشاف العالم الروسي العظيم الأهمية من دون اهتمام.

لم يتطور كل من المولدات والمحركات خلال سنين عديدة أيضا كلا على حدة، بل كان لها تصاميم مختلفة أيضا، مع أنها كانت في جوهر الأمر الآلة نفسها. ولم يتغير الوضع إلا بعد عدة عشرات من السنين.

وفي النهاية، أدرك التقنيون الكهربائيون في السبعينيات من القرن الماضي، بوضوح أن المحرك والمولد هما شيء واحد، وبهذا الشكل، استطاعوا أن يوحدوا المنجزات التصميمية لمنشئي المولدات ومنشئي المحركات.

جذب اهتمام كارل ماركس، على ما يبدو، أحد المحركات الكهربائية المبكرة في زمنه. وإليكم ما ذكر عن ذلك زميل ماركس ف. ليبكنخت:

«وسرعان ما تطرقنا إلى مجالات العلوم الطبيعية. قال ماركس بتهكم عن انتصار القيصرية الرجعية في أوروبا، التي توهمت أنها سحقت الثورة، دون أن ترتاب بأن نجاحات العلوم الطبيعية تحضر لثورة جديدة. صاحب الجلالة البخار، الذي قلب كل شيء في القرن السابق رأسا على عقب، يخرج الآن من المسرح ويتنازل عن مكانه للثورية الأقوى بكثير: للشرارة الكهربائية. عند ذلك تحدث إليّ ماركس، وهو مطوق بهالة من الحماسة، فقال: هاهو ذا قد عرض منذ أيام نموذج طريق حديدي على شارع ريدجنت-

ستريت. لقد حلت المسألة الآن، والنتائج واسعة الأرجاء. وسيتبع الثورة الاقتصادية ثورة سياسية، لأن الثانية تخدم فقط في إظهار الأولى».

أنشأ العالم الروسي بوريس سميونوفتش ياكوب عام 1838 أول نموذج لمحرك بدوران دائري للقلب الدوار. أثار هذا المحرك ضجة في بطرسبورغ وغيرها من المراكز العلمية في أوروبا. وضع بعد ذلك على قارب طوله 5,8 م وعرضه 1,2 م، تحرك بستة عشر راكبا على ظهره، وقد أرغم هذا المحرك الكهربائي القارب أن يبلغ سرعة كبيرة ليس فقط مع تيار نهر النيفا، بل وبعكس التيار أيضا. كانت استطاعته نصف كيلو وات، ليس أكثر.

ولأجل اختبار «الفعالية الاقتصادية»للمحرك الجديد عينت أكاديمية العلوم لجنة مهيبة برئاسة الأميرال الروسي المشهور ي. ف. كروزينشترن. وقد استنتجت اللجنة أن المحرك الكهربائي أغلى بعشر مرات من البخاري، وبالتالي، لا يملك مستقبلا في الأسطول.

وإلى تلك السنين نفسها ترجع أولى المحاولات لاستخدام المحرك الكهربائي في وسائل النقل بالسكك الحديدية أيضا. فقد عرض ت. ديفنبورك بلندن عام 1838 نموذجا صغيرا لقاطرة كهربائية مع عربة (وزنه كله 30 كيلو غراما ليس أكثر). قطع النموذج بدقيقة «43 قدما على سكة» - أي نحو 3 كيلو مترات في الساعة. لم يترك ياكوب أيضا فكرة القاطرة الكهربائية من دون اهتمام. فقد كتب في 29 تموز من عام 1838، في رسالة موجهة إلى نائب الأميرال ي. ف كروزينشترن: «يمكن للقاطرة الكهرطيسية الصغيرة مع آلتي الصغيرة أن تنقل بالسلك حملا زنته 160 كيلو غراما وبسرعة 5 كيلو مترات في الساعة». نوى ياكوب أن يبدأ بهذه التجربة، على ما يبدو بعد اختبار زورقه الكهربائي. إن فشل الاختبار والنتيجة السلبية للجنة باستخدام المحركات الكهربائية في الملاحة، أديا إلى تأجيل أعمال استخدام السحب الكهربائي على السكك الحديدية لبضع عشرات من السنين.

يجب القول إنه حتى عام 1838، عندما اقترح ياكوب أول نموذج عملي للمحرك الكهربائي، كان للآلات المشابهة طابع استعراضي، لم تستطع أن تبين إلا قوانين الظواهر الكهرطيسية. كان من المستحيل سلفا حسابها بعد، مادامت المفاهيم الفيزيائية البحتة لهذه التصاميم المعينة تطبق بصعوبة.

من المهم لنا هنا أن نبين: ماذا إذن؟ هل اخترعت الآلة الكهربائية، وكما من قبل البخارية، من دون استعمال لمنجزات العلم؟ وإذا كان ذلك كذلك، فلماذا يعد علم الهندسة الكهربائية مجالا أول للتقنية، التي خرجت من العلم بالذات وهي مدينة برمتها له؟

وضع إي. خ. لانس عام 1834 القانون المسمى باسمه الذي حدد اتجاه التيار المتحرض. استعمل هذا القانون قاعدة لنظرية نيمان الرياضية لتيارات التحريض. وسرعان ما أظهر هيلمغولتس وتومسون أن قانون التحريض الكهرطيسي لفارادي له صلة داخلية عميقة بقوانين التأثيرات الكهرطيسية، التي اكتشفها إرستيد وأمبير، وكذلك مع مبدأ حفظ الطاقة.

كانت أعمال لانس أعمالا أولية في موضوع الآلات الكهربائية. وقد اقترح لانس نفسه أول الحلول لمسائل توزيع التيارات في جملة النواقل المتفرعة، والتي صاغها كيرشوف فيما بعد على نحو أعم. واقترح هو نفسه أيضا معيار (وحدة) المقاومة الكهربائية، مسميا إياها «ياكوبي» عام (1848). استعملت هذه الوحدة استعمالا واسعا حتى ذلك الزمن، حتى وضع ماكسويل، وفليمنغ هنكن وبلفور ستيوارت عامي 1863 - 1864 وحدة جديدة حصلت على اسم «أوم». وأدخل لانس أيضا مفاهيم دقيقة للغاية على نظرية الآلات الكهربائية، على سبيل المثال، «رد فعل عضو الإنتاج أو القلب الدوار».

اغتنت النظرية بسرعة. فقد أدخل م. فارادي في الاستعمال مصطلحات «القطب الكهربائي»، «التحليل الكهربائي»، «العازل الكهربائي». ووضع ماكسويل بعده مجموعة من المفاهيم النظرية المهمة الجديدة.

إلا أنه يجب القول إن الاختلاف في لغات الفيزياء الأساسية، التي في كنفها تطورت الديناميكا الكهربائية، ومجموعة المخترعين الذين وضعوا المبادئ التصميمية الأساسية للآلات الكهربائية، أدى إلى أن المصممين، الذين لم يحرزوا تعليما فيزيائيا كلاسيكيا (باتشينوتي وغرام وغيرهما)، لم يستطيعوا أن يفهموا شيئا من هذه النظريات، مع أنهم قد أنشأوا نماذج للآلات الكهربائية قادرة على العمل تماما.

ظهرت ضرورة الاستقصاءات النظرية المتجهة لتحسين الآلات الكهربائية، وخفض وزنها وحجمها، وتقليل الضياعات، ظهورا كاملا عندما استقر طراز أكثر منطقية وعملية.

ارتبط التقدم اللاحق في هذا المجال ليس بقدرة الابتكار للعقل التصميمي، بقدر ما ارتبط باستخدام منجزات العلم - الميكانيك، نظرية الحرارة، نظرية الحقل الكهرطيسي. وقد استوعب علماء ذلك الزمن المعروفون هذه المسألة الجديدة واندمجوا في استقصاء النظرية.

أصبحت مقالة ماكسويل «عن نظرية الحفاظ على التيارات الكهربائية بطريقة ميكانيكية دون مغانط ثابتة»، مثلا نموذجيا لاهتمام علماء أواخر القرن التاسع عشر الأساسيين بضرورات تطبيق علم بناء الآلات الكهربائية.

هاهي قصة ظهور هذه المقالة بإيجاز. نقل ولهلم سيمنس في 14 فبراير عام 1867 إلى اجتماع الهيئة الملكية في لندن خبر إجراء مسابقة للآلات ذات التحريض الذاتي (أي من دون استخدام للمغانط الثابتة)، التي ابتكرها أخوه فيرنر، المخترع المعروف. في ذلك الاجتماع قدم ش. ونستون أيضا تقريراً عن تجاربه في استعمال ما يسمى تحريض دارة التوازي للآلة الكهربائية، بدلا من التوالي. كأن هذين الاختراعين قد أتما مرحلة طويلة (من عام 1830) من البحث عن التصميم المنطقي للآلات الكهربائية.

بعث ك. فارلي بعد تسعة أيام من الاجتماع برسالة إلى سكرتير الهيئة الملكية، حاول فيها، كالسابق «على الأصابع»، أن يشرح الزيادة الجسيمة لاستطاعة الآلات التي صنعت حسب مخططات سيمنس وونستون. وانتهت المحاولة بالفشل.

في 14 مارس عام 1867، أي بعد شهر فقط من إبلاغ سيمنس وونستون، قدم ماكسويل تقريرا نظريا إلى الهيئة الملكية ترجم فيه لأول مرة مسائل بناء الآلات الكهربائية إلى اللغة الفيزيائية. وقد استعمل ماكسويل صيغا منتزعة من عمله «النظرية الحركية للحقل الكهرطيسي»، على نحو مباشر. مع الأسف، لم ينضج آنذاك المخترعون ولا المهندسون في المصانع بعد لفهم العمل «التطبيقي» لماكسويل. ولم يوجد في مجموعة العلماء في ذلك الزمن «مترجم»، قادر على بسط أفكار ماكسويل التي تبدو معقدة بلغة مقولات المخترعين العلمية التقنية الإنتاجية. ولم يؤد عمل ماكسويل إلى نتيجة ملموسة تتعلق بمصير الآلات الكهربائية.

وصل التقنيون الكهربائيون في السبعينيات من القرن الماضي إلى ضرورة التحليل، «فقد باشروا - كما كتب في المجلات - وضع التفصيلات» وراحوا

يحاولون تصميم المولدات الكهربائية والمحركات الملائمة. هنا بدأ تاريخ الآلات البخارية يتكرر: فقد احتاج التقنيون الكهربائيون إلى نظرية، لكن في المؤلفات الكهرطيسية، مع أنها واسعة جدا، لم يبد شيء يمكن الانتفاع منه. ثم أكدوا فيما بعد أنه لدى البحث الدقيق استطاعوا أن يجدوا كل شيء احتاجوا إليه جاهزا - فهم لمّحوا إلى مؤلفات ماكسويل، ووليام تومسون، وفارادي، وحتى إيلر.. ومهما يكن فالتقنيون، الذين لم يروا مساعدة من العلم، ساعدوا أنفسهم.

كتب فرنر سيمنس أنه بين معطيات العلم واحتياجات التطبيق وجدت في ذلك الزمن «هوة عميقة». ورأى م. أ. دبرفولسكي أن التقنيين الكهربائيين «لم يستطيعوا حتى عام 1885 أن يحسبوا حتى بصورة تقريبية الآلات والمحولات البسيطة، أما التصاميم فقد استطاعوا أن ينتقدوها بعد إنجازها فحسب».

يعود فضل الدفعة الحادة في تطور الآلات الكهربائية إلى العالم الروسي ميخائيل أوسيبوفتش دوليفو دبرفولسكي. فباعتماده على المعطيات النظرية، ابتكر طرازا جديدا تماما للآلة الكهربائية، محركا غير متزامن ثلاثي الأطوار بقي إلى زمننا يعمل بإخلاص مدورا مكنات قطع المعادن، ومكنات الدرفلة، وملايين المكنات الأخرى.

أدى ابتكار هذا المحرك، العامل بالتيار المتناوب، إلى ذعر في صفوف مالكي المحطات الكهربائية العاملة بالتيار المستمر. ومن بينهم المخترع العظيم توماس ألفا إديسون أيضا. مع الأسف، لم تتغلب نزاهة العالم والمخترع فيه على غرائز المالك، حتى إنه أعلن أن التيار المتناوب هو عدو للطبيعة الإنسانية، والأخلاق، والكتاب المقدس، وقدم إلى مجلس الشيوخ في ولايته مشروع قانون لمنع التيار المتناوب باعتباره خطيرا وشاذا. ولكي يبرهن على ذلك، توصل إلى أن عقوبة الإعدام على الكرسي الكهربائي تتم بمساعدة التيار المتناوب بالذات. كل ذلك كان بلا جدوى. وبدأ التيار المتناوب، ومحركات دوليفو - دبرفولسكي موكبهما المظفر في الكرة الأرضية.

ومنذ ذلك الحين لم تتغير عمليا الأنماط الأساسية للآلات، ما عدا الزيادة في استطاعاتها، وضخامة قياساتها. لقد بنت شركة «موزير وبلات» في مانشستر في الثمانينيات مغناطيسا وزنه 46 طنا لأجل مولد واحد.

وكان هذا الحجم الهائل، لأن المهندسين المعاصرين، باستعمالهم مثل هذا المغناطيس، استطاعوا أن يرفعوا الاستطاعة لأكثر من استطاعة المحطة الكهرمائية على نهر الدنيبر.

عندما أنشئت بفضل أجيال المخترعين تصميمات ناجحة للمولدات الكهربائية، بقي فقط إيجاد طريقة لتدويرها، لكي تتحول الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية. وظهرت الحاجة لصنع محرك قادر من دون أجهزة وسيطة، على أن يدور فورا العضو الدوار للمولد بعدد كبير من الدورات.

في الحقيقة، وجد واحد من مثل هذه المحركات، بالإضافة، إلى أنه سبق لحظة اختراع المولدات بآلاف من السنين. يدور هنا الحديث يجري عن الدولاب المائي العادي. وفي الواقع، احتيج لتحسينات ملموسة لتحويل الدولاب المائي القديم إلى عنفة مائية حديثة.

أنجزت هذه التحسينات بسرعة إلى حد ما. ويعود ذلك إلى أن الحاجة إلى منبع للطاقة يدور بسرعة، نشأت قبل اختراع المولدات الكهربائية أيضا. وقد وجد المخترعون المخرج في إنشاء عنفة مائية سريعة. اقترح في عام 1745 باركر في إنجلترا، وفي عام 1750 سيجنر في المجر تصميما لعنفة مائية ردية، وقام ليونارد إيلر بدراسة عملها دراسة نظرية.

وفي عام 1832، وبمبادرة من البروفسور بوردين في فرنسا أعلن عن مسابقة لأحسن تصميم لمحرك مائي عالي السرعة (بالمناسبة، أدرج بوردين بالذات مصطلح العنفة نفسه أيضا). ربح المشروع تلميذ بوردين، المهندس الفرنسي فورنيرون. وقد انتشرت هذه «العنفة» انتشارا كبيرا جدا. وبعد إعداد بونسيلي الأسس النظرية لعمل العنفات المائية عام 1838، مضى تطورها بسرعة على وجه الخصوص.

حتى بداية القرن العشرين كانت النماذج الأساسية لتصميم العنفات المائية قد اقترحت. وكانت هناك حاجة فقط إلى إعداد تصاميم جديدة، وقد نجح المهندسون بذلك. وإذا لم تكن العنفة المائية للمحطة الكهرمائية في فولخوف قد اختلفت هكذا بمبدأ عملها عن العنفات المائية العملاقة للمحطات الكهربائية السيبيرية الجبارة، إلا أن تصميمها كان أكثر تطورا بمرات عديدة.

إلا أن للعنفات الهيدروليكية (المائية) هنا بالذات سيئة ملموسة-مثل

الدواليب المائية أيضا-وهي عدم الافتراق عن التيارات المائية. إن الصناعات المتطورة على نحو عاصف تفتقر إلى آلات تعمل في كل مكان، وتستطيع أن تدور المولدات القوية بسرعة. وقد بدأ العلماء والمخترعون محاولات لإنشاء العنفات البخارية.

تشترك العنفة البخارية في أشياء كثيرة مع الدولاب المائي. فقد نشأت فكرتها منذ زمن بعيد جدا، منذ آيوليبل هيرون واقتراح نوهنا به للمحترم برانك اللذين كانا عبارة عن نموذج أصلي للعنفة البخارية. عندما ظهرت الآلات البخارية وأصبحت مألوفة، اقترح المخترعون تصاميم عدة للعنفات كذلك، لكنها جميعا كانت غير قادرة على العمل؟ فلم توجد مهارة بعد في معالجة المعادن بالدقة المطلوبة، ولم يدرك المهندسون بعد خاصية تسرب البخار في الثقوب الصغيرة. في منتصف القرن التاسع عشر فقط ظهرت أول الأعمال التي شرحت على نحو صائب مسائل تدفق البخار من الأوعية، إذ فهموا بدقة السرعات، التي يجب أن يدور بها الدولاب العامل للعنفة. وقد تبين أن هذه السرعات كبيرة لدرجة، أنه لم توجد في ذلك الزمن مواد معرفة قادرة على تحملها. واحتاج الأمر إلى عشرات السنين من جهد الفلزيين والتكنولوجيين، لكي يباشر بإنشاء العنفات البخارية.

اقترح المهندس السويدي كارل غوستاف باتريك دي لافال أول تصميم للعنفة البخارية قادر على العمل. وقد انحدر من عائلة فرنسية قديمة هاجرت إلى السويد في القرن السادس عشر، عندما كانت ملاحقة الهوغينوتيين[1] على أشدها. أنهى لافال الجامعة في أبسال عام 1872 وبدأ العمل مهندسا في التكنولوجية الكيميائية وعلم الفلزات. بيد أنه جذبت المهندس الفني فكرة إنشاء تصميم مكتمل لفرازة من أجل الحليب: الجهاز الضروري للغاية لمربي المواشي السويديين. ولكي تفرز الفرازة الزبد جيدا عن الحليب يجب عليها أن تدور بسرعة كبيرة: نحو 6 - 7 آلاف دورة في الدقيقة. أنشئ تصميم الفرازة نحو عام 1878. واستخدم لافال لتدويرها عنفة بخارية بدائية. كان تصميمها، بالطبع، بعيدا جدا عن التصميم الحديث، إلا أن نجاح الفرازة في الدوران بالعنفة قدم للمخترع أموالا للعمل بتصميم العنفات البخارية.

ابتكر مثل هذا التصميم بسرعة إلى حد ما. فقد عرض لافال في

معرض شيكاغو عام 1893 عنفة استطاعتها 5 أحصنة، تدور بسرعة 35 ألف دورة في الدقيقة. وقد بلغت استطاعة عنفة لافال التي عرضها عام 1900 في معرض باريس 350 حصانا. وحل المخترع العديد من المسائل أثناء عمله بتصميم العنفة البخارية، ويستخدم قسم كبير من منجزاته اليوم أيضا.

ومضي مخترع آخر، هو تشارلز ألجيرنون بارسونز في طريق آخر، هو طريق إنشاء العنفات الردية، حيث ينخفض ضغط البخار بقوة. كان أبوه رئيسا للهيئة الملكية اللندنية، وفر لابنه تعليما بيتيا رائعا، تابعه الابن في جامعة كمبردج. ومع أن الأب كان عالما فلكيا مشهورا، إلا أن الابن انجذب أكثر إلى الاختراع. لقد حاول أن يصنع في الثانية عشرة من عمره سيارة بخارية. وبعد إنهاء الجامعة عام 1876 تقدم بارسونز للعمل في مصنع أرمسترونغ لبناء الآلات في نيوكاسل. وحصل عام 1884 على براءة اختراع لتصميم عنفة بخارية، أما في عام 1885 فقد بنى أول نموذج لمحرك جديد. انتشرت العنفة البخارية في إنجلترا بسرعة، ففي سنة 1896 وحدها بنيت عنفات باستطاعة 40 ألف حصان.. إلا أن العنفات البخارية لم تستخدم تقريبا في القارة الأوروبية؛ لأنها لم تكن جديرة بثقة المهندسين المحليين، وبدت الآلة البخارية أكثر ضمانا وملاءمة. ومع ذلك فقد وجد متحمسون للآلات الجديدة هنا أيضا.

بمبادرة من لندل كبير مهندسي مدينة فرنكفورت بألمانيا طلبت عنفتان من عنفات بارسونز لبناء محطة كهربائية في مدينة إلبرفيلد. جرت تجارب هاتين العنفتين بدقة خاصة، ودعي لإجرائها اختصاصيون موثوقون. وانتهت تجارب العنفتين عام 1890. وقد برهنت نتائج التجارب بوضوح على تفوق العنفات البخارية على الآلات البخارية. ومنذ ذلك الحين ابتداء بسرعة إخراج الآلات البخارية من المحطات الكهربائية وتبديلها في كل مكان بالعنفات البخارية. وفي الوقت الحاضر تعد العنفات البخارية المنابع الأساسية للطاقة في الطاقة بنطاقها «الواسع»: تنتج بوساطتها نحو 80 ٪ من الطاقة المستخرجة في العالم. بالطبع تغيرت كثيرا، إلا أن مبادئ العنفات البخارية الردية المتعددة المراحل، التي اقترحها بارسونز، بقيت ثابتة.

نمت استطاعات العنفات البخارية بسرعة عظيمة للغاية. فقد بنيت

في عام 1907 في مصنع سانت بطرسبورغ المعدني بروسيا (وهو المؤسسة المعروفة حاليا في كل العالم بمصنع لينينغراد المعدني) العنفة البخارية الأولى باستطاعة 200 كيلو وات. وقد أنتج ذلك المصنع نفسه عام 1924 عنفة أقوى بعشر مرات. وتطلب تنفيذ خطة غويلرو[2] ازديادا أكبر أيضا لوتائر إنتاج العنفات: عام 1927 بلغت استطاعة أكبر عنفة 10 آلاف كيلووات، وعام 1931 - 50 ألف كيلو وات، وعام 1938 - 100 ألف كيلووات.

ومنذ عام 1970 أنتجت على التتابع عنفات باستطاعة تصل إلى 800 ألف كيلو وات. أما في عام 1980 فقد شغل في المحطة الكهربائية الحكومية لناحية كوستروم وحدة طاقة فريدة باستطاعة مليون و 200 ألف كيلو وات!

انقضى إذن أكثر من مائة سنة منذ أن استقر المبدأ التصميمي الأساسي للآلات الكهربائية. ومنذ ذلك الحين لم تتعرض هذه الآلات إلا لتغييرات تصميمية غير مبدئية. أما منذ بداية قرننا فلم يتغير تقريبا شكلها الخارجي أبدا.

... وها هما آلتان تقفان في متحف لينينغراد، كقطرتين في الماء تشبه إحداهما الأخرى، مع أن إحداهما بنيت عام 1905، والأخرى عام 1980.. في أثناء ذلك تحول طائر شراع موجايسكي في البداية إلى طائرة «إيليا مورومتس»، ثم إلى إيل - 12، ثم إلى تو - 154، واكتشفت الطاقة الذرية، وفجرت القنبلة الذرية، وبنيت المحطات الكهربائية الذرية، وأحدقت مدارات الأقمار الصناعية بالأرض وخرج الإنسان من حدود المركبة الفضائية، شاقا الطريق إلى النجوم... أما الآلات الكهربائية، فمثلما أبو الهول الحجري، تنظر إلى كل هذا البهرج من ذروة كمالها الذي بلغته.

بيد أن الانطباع خادع. إذ يجدر بنا أن نقترب من الآلة وأن نفحص لوحاتها الفنية التي يضعها المصنع، والتي كتب عليها استطاعتها الاسمية، حتى يظهر أن استطاعات هذه الآلات المتشابهة بالقياس مختلفة ويصعب مقارنتها، فهي تختلف أحيانا بعشرات المرات. ويحدث هذا لأن الناس قد تعلموا مع مرور الزمن استخدام منجزات العلم استخداما أفضل. لنشرح بإيجاز، ما الأمر هنا.

كما أشار فارادي، لأجل تحقيق الفعل الكهرطيسي المتبادل في المحرك أو المولد من الضروري وجود حقلين مغناطيسيين متبادلي التأثير - هما

حقل العضو الثابت وحقل العضو الدوار - فكلما كان هذان الحقلان أقوى، كان التأثير المتبادل أقوى، وكانت استطاعة الآلة أكبر.

ومن أجل زيادة الحقل المغناطيسي، من الضروري زيادة شدة التيار في نواقل الملف. بيد أنه حتى إذا صرفنا النظر عن الظاهرة الحتمية - «تشبع الفولاذ»، من المستحيل زيادة التيار بلا حد: تزداد حرارة النواقل أكثر من اللازم، وتحترق عليها المادة العازلة. توجد لدى خبراء الكهرباء حتى قاعدة خاصة «قاعدة الدرجات الثماني»، تنص على أنه: عند ارتفاع درجة حرارة المادة العازلة ثماني درجات تنخفض مدة خدمتها مرتين.

على ضوء هذه القاعدة يصبح واضحا، مدى الأهمية الكبرى التي يكتسبها تبريد النواقل. فلم تعد مقبولة الطريقة العامة السابقة لزيادة الاستطاعة بزيادة الحجم. ولم تعد الآلات قادرة بوساطة أبعادها أن تتجاوز استطاعة أكبر من أسلافها، فهي قد وصلت إلى الحد الأقصى في الطول والقطر.

ما الذي يحدد إذن الأبعاد القصوى للآلة الكهربائية؟

يحددها، أولا، البعد الأعظمى المطروق للجزء الفولاذي الذي يمكن تحضيره في المصنع الفلزي.

تحددها، ثانيا، أعمدة جسور السكك الحديدية، وعرض أنفاق السكك الحديدية وارتفاعها. لأن الآلات الكهربائية تصنع كقاعدة في مكان، وتوضع في آخر. فمن الضروري نقلها من مكان إلى مكان، وفي أغلب الأحيان بالسكك الحديدية. ولذلك تؤثر بشدة متطلبات عمال السكك الحديدية على تصميم الآلات الكهربائية. ويمكن في الحقيقة فك بعض الآلات إلى أجزاء (المولد الكهربائي)، وتستمر هذه الآلات: استطاعتها في نمو، وأبعادها في ازدياد. ولقد بلغت الآن عشرات الأمتار قطرا وآلاف الأطنان وزنا (يزن أضخم مولد كهرمائي في العالم للمحطة الكهرمائية في سايانو شوشين ذي الاستطاعة البالغة 640 ألف كيلو وات نحو ثلاثة آلاف طن). ومن الآلات الكهربائية الضخمة أيضا - المولدات العنفية - وهي لا يمكن لجملة من الأسباب فكها إلى قطع، ولأجلها حجم السكة الحديدية هو بالضبط مضجع بروكروستوس[3]، الذي يجب عليها أن تأخذ مكانها فيه.

وببلوغ «الحجم الأعظمي للسكك الحديدية» في بداية القرن، لم يعد من المستطاع تكبير أبعاد المولدات العنيفة أكثر. وبصرف النظر عن ذلك

فقد نمت استطاعتها حتى سنة 1980 خمسين مرة! رسم على صورة عام 1910 آلة ضخمة تعود إلى ذلك الزمن-هي مولد عنفي استطاعته 25 ألف كيلو وات. يستطيع رجل ضخم أن يقف في تجويف القطر الداخلي للعضو الساكن-مما يعني أن قطره يبلغ نحو مترين. إن تجويف أقدر المولدات العنفية السوفييتية الحديثة في العالم ذات الاستطاعة 500, 800, 1200، ألف كيلو وات يبلغ قطره أقل قليلا من قطر التجويف في هذه الآلة. والأبعاد العامة هي نفسها تقريبا، والطول أكثر بقليل.

كيف تيسر التوصل لمثل هذه الزيادة في الاستطاعات؟

بالدرجة الأولى على حساب التبريد الشديد للملفات.

في بعض المصانع الوطنية وفي كثير من الشركات الأجنبية وضعت الآن أنظمة تبريد للنواقل فعالة جدا بالهيدروجين الغازي وبالماء وبزيت المحولات. ففي أنظمة استعملت أنابيب صغيرة تقوم بنقل الهيدروجين الغازي، المبرد للنواقل النحاسية، وفي أنظمة أخرى ينقل الماء بأنابيب مماثلة بسرعة كبيرة. وتوجد أنظمة كثيرة غيرها للتبريد. ويفتح آفاقا خاصة تبريد نواقل الآلة حتى درجة غليان الهليوم السائل، التي عندها تتمتع بعض المواد بخاصة الموصلية الفائقة، أي لا تتسخن مطلقا وهي من ناحية المبدأ لا تضيع شيئا من الاستطاعة. بفضل التبريد الشديد فقط ضمن ذلك الحجم للمولد وعند حفظ حصانة المبدأ التصميمي أمكن رفع الاستطاعة مرات عديدة.

جميع الآلات الكهربائية - مستودونات (حيوانات بائدة) علم الهندسة الكهربائية المعاصر وذبابه - رغم كل الاختلافات الظاهرة بينها هي في الجوهر قليلة الاختلاف إحداها عن الأخرى. ففيها جميعا مغانط تنتشر بجانبها النواقل باندفاع (لهذه النواقل شكل خيط خفيف الوزن أو عارضة سكة حديد - بحسب نطاق المسألة).

ملايين التعديلات للآلات الكهربائية: آلات «مطبوعة» على أسطوانة مفلطحة كسمكة موسى، آلات غاربي المجهزة بأقطاب مخلبية الشكل، آلات تتحرك داخلها كؤوس ألومنيومية بلا صوت وبسرعات لا يمكن تصديقها، آلات ذاتية الانزلاق أو على السكك، مولدات MRA، التي نواقلها بلازما متحركة، محركات ذات موصلية فائقة مع أعضاء دوارة كثيرة الزوايا، مقاود بلازمية لمحطاتنا الفضائية-كل هذه أغصان شجرة مثمرة غرسها في غابر

الزمن فارادي.

بيد أن أقوى غصن من هذه الأغصان، ذلك الذي طعّمه إلى شجرة فارادي الخالدة المخترع المجهول ب. م.

الآلات الكهربائية - هي إحدى أكثر الأبراج المحصنة في التقنية. وها قد لاحت مائة سنة، وتصميمها عمليا ثابت، وهذا ما يبدو مستحيلا في قرننا العاصف، المدفوع بالثورة العلمية التقنية. وببساطة لعله لم يحن وقت «المجهول ب. م.» الجديد؟

في قعر البئر الحرارية

يبدو أن التقنية قد تغلغلت في كل «الزوايا المحمية» للطبيعة، فلا توجد مرتفعات صعبة المنال، فقد قرضت مثاقب الآلات الحفارة قعر المحيطات، وأذعنت الضغوط الهائلة والفراغ المخلخل للإنسان، وثمة أجهزة ولدت بها حرارة بلغت ملايين الدرجات. إن نطق تطور التقنية في الوقت الحاضر يؤدي إلى أنهم بدؤوا ينزلون إلى قعر البئر الحرارية أيضا، وإلى العالم الغريب لأخفض درجات الحرارة في الطبيعة، ليس فقط أجهزة فيزيائية عديمة التأثر لتسجل ما يجري، بل أول أجهزة تقنية أيضا. ومثل كل عالم لم يُبحث بعد، يخفي عالم درجات الحرارة المنخفضة ألغازا جديدة، وكنوزا جديدة.

في زمن احتلال جيوش نابليون للأراضي المنخفضة (هولندا) انفجرت سفينة فرنسية محملة بالذخائر، في إحدى القنوات الصالحة للملاحة في مركز ليدن، واجتاح الانفجار جميع الأبنية على ضفتي القناة. ومضت سنون. وسويت الخرائب تدريجيا مع الأرض تقريبا، وتحولت ضفتا القناة إلى أرض خالية نمت عليها حشائش طفيلية طويلة، سماها سكان ليدن الخرائب. وفي الثمانينيات من القرن الماضي جاء البناؤون إلى هنا، وشمخ بسرعة على الضفة اليسرى للقناة بناء مضيء لجامعة ليدن ذو ثلاثة طوابق.

في هذه الجامعة فضلت الفيزياء التجريبية من بين كل اتجاهات الأبحاث الممكنة. وقد فسر ذلك لدرجة ما بأنه عمل هاهنا علماء كبار: لورنس (تذكروا«تحويلات لورنس» - أساس النظرية النسبية لـ أ. أينشتاين) وفان دير فالس (قوى فان دير فالس). وبلغت الأبحاث الفيزيائية تطورا خاصا

أثناء وجود هيكه كامرلنغ - أونيس، وفي جوهر الأمر تحولت الجامعة كلها إلى مخبر ليدني مشهور في كل العالم لدرجات الحرارة المنخفضة، سمي فيما بعد باسمه.

لقد تعودنا على الأبحاث الفيزيائية القياسية. ويستعمل الفيزيائيون الآن تجهيزات معقدة وغالية، مثل مسوغ البروتونات لسيريوخوف ودوبنن، والصواريخ والأقمار الاصطناعية، وغواصات خاصة، وطائرات وسفن. يصعب على العالم المعاصر المرفه بآلات حاسبة وبتقنية فريدة أن يتصور مخبرا فيزيائيا عاديا يعود إلى بداية القرن. وحتى مخبر ريزر فورد في كامبردج ذو الشأن كان حتى العشرينيات والثلاثينيات« مختوما بالشمع وبحبل».

لذلك قد يكون تقدير اكتشافات أونيس، أصعب علينا من معاصريه: فهو أحد الأوائل الذين فهموا ضرورة إعادة التجهيز الكلي للمخابر. وهو لم يفهم هذه الضرورة وحسب، بل نجح في تحقيق أفكاره عمليا أيضا.

شغل بناء الجامعة كله بأبحاثه، وبنى وحدات تبريد لا نظير لاستطاعتها في ذلك الزمن، وأسس مدرسة للعمال المهرة ومجلة علمية. وكانت مواضيع أبحاث المخبر في مجموعها محددة فقط بدرجات الحرارة المنخفضة وبهدف معين تماما - هو تمييع الهليوم.

إن التفوق التقني لأونيس عرف بنفسه بسرعة إلى حد ما. فقد اجتاز أونيس خلال شهر كل الدرجات التي تؤدي أعمق فأعمق في البئر الحرارية. وميع الأوكسجين، والنيون، والهيدروجين على التوالي.

وبالإضافة إلى تمييع كل الغازات أوصل معظمها حتى إلى حالة الصلابة. لكن الهليوم وحده لم يذعن لجهود العلماء. فتعالت الأصوات قائلة: هل يشغل هذا الغاز في العالم وضعا خاصا ما؟ قد يكون لأجل ذلك لا يتحول إلى سائل؟

لم يستسلم أونيس، وطور الأجهزة بمثابرة. كان التوصل لكل درجة جديدة من البرودة يجري بجهود هائلة. وعملت آلات التبريد عدة أيام. وبلغت درجة الحرارة إلى 20 درجة بمقياس كلفن... ثم 15 درجة... ثم 10 درجات... والهليوم على ما يبدو في مكانه لم ينحن أبدا مع الأسف، 5 درجات... وبقي الهليوم غازا.

مضى أكثر من عشر سنين منذ بداية التجارب.

2,4 درجة. وظهر في وعاء ديوروفسكي سحابة صغيرة من الضباب. هذا دليل جيد-لأن جميع الغازات والأبخرة الأخرى، والتي أمكنها البقاء في الوعاء نتيجة عدم نظافة التجربة، قد تجمدت وتبردت بلا حراك في مكان ما على الجدران. والهليوم وحده في الوعاء. ولعل الضباب لم يتشكل إلا منه. إذن قد نشأ في الهليوم مراكز تكثيف، وبدأ يتحول إلى سائل! تنخفض درجة الحرارة تدريجيا وتستمر التجربة.

في نهاية الساعة الثامنة عشرة نشأ في القعر الزجاجي للوعاء شيء من دوامة، فوارة، وهاهي في القعر طبقة رقيقة من السائل الغالي الخفيف والشفاف لدرجة أنه لا يرى إلا بصعوبة.

يبدو السائل عديم الوزن، وغير موجود، تقريبا. وربما لا يوجد هذا السائل الذي تصيده كامرلنغ أونيس سنوات طويلة البتة.

نزلت غشاوة على عيني العالم. إن عشر سنوات من الجهد المثابر، وثماني عشرة ساعة من التجربة المستمرة، والقلق المفاجئ عند رؤية قطرات الضباب وهذا السائل المضطرب الخفيف، قد حطمته. ونقل أونيس إلى البيت وهو في حالة إغماء. ولم يستطع الإنسان المثابر أن يعود من جديد إلى أجهزته وإلى مكتبه وتجاربه، إلا بعد عدة أشهر.

.. ومضت ثلاث سنوات منذ العاشر من يوليو عام 1908، عندما حصل هيكه كامرلنغ أونيس على أول قطرات من الهليوم السائل. والآن يمكن إجراء قياسات، وأبحاث لخواص المواد عند أخفض درجات الحرارة التي حصل عليها الإنسان. يمكن مثلا أن نبحث عند تلك الدرجات الحرارية خواص مختلف المواد وأن نشير إلى القدر الجيد لتوافقها مع هذه النظرية الفيزيائية أو تلك.

انغمس أونيس حتى رأسه في القياسات. واختبر دون انقطاع غيره ونفسه، وطبع في المجلة العلمية للمخبر أكواما من الأرقام، هي عبارة عن معطيات وثوابت فيزيائية متنوعة.

نشرت خطوط ثبات الحرارة للغازات عند درجات الحرارة المنخفضة، وجداول ومنحنيات السعات الحرارية للغازات والأجسام الصلبة، وجداول المقاومات الكهربائية النوعية. قاس أونيس المقاومات الكهربائية النوعية

لأغلبية النواقل الكهربائية الجيدة (النحاس، الألمنيوم، الفضة) وبدأ بدراسة مقاومة الزئبق الصلب (بالطبع صلب-لأن حرارته هي مجرد عدة درجات فوق الصفر المطلق!). وانتظرته هنا مفاجأة أيضا، أي مفاجأة!

اهتم العلماء بكيفية تغير المقاومة الكهربائية للزئبق عندما تنخفض حرارته وتصل إلى مجالات قريبة من الصفر المطلق. وسادت في ذلك الوقت وجهة النظر التالية: إذا انخفضت درجة حرارة العينة فذلك يعني بالدرجة الأولى، أن البنية البلّورية للمادة ستهتز أقل فأقل. واحتمال اصطدام الإلكترون - حامل الكهرباء - بالبنية وكبح حركته (في هذا بكلمة موجزة جوهر المقاومة الكهربائية) سيصبح أقل فأقل. وصار يأخذ حيزا أنه مع انخفاض درجة الحرارة يجب على مقاومة عينة المعدن أن تنخفض ومن حيث المبدأ أن تساوي الصفر عند درجة حرارة الصفر المطلق.

لكن بلوغ الصفر المطلق في التجربة غير ممكن، ولذلك اهتم العلماء بطبيعة منحنى المقاومة الكهربائية عند انخفاض درجة الحرارة. وأجريت جميع القياسات على النحاس، والفضة وغيرها من النواقل الجيدة للكهرباء، وتعززت وجهة النظر المعروضة آنفا كليا. وهنا سلك الزئبق المتجمد والمتصلب سلوكا غريبا تماما. فحين كانت المقاومة تقاس في مجال 15 ، 10 ، 5 درجات كلفن، مضى كل شيء طبيعيا، كما في المعادن المبحوثة الأخرى بالضبط. وخفض أونيس درجة الحرارة حتى 1 ,4 كلفن، ونظر إلى الجهاز الذي قيست المقاومة بوساطته، ودهش: إذ أشار مؤشر المقياس إلى أن مقاومة العينة تساوي الصفر، مع أنه بقي حتى الصفر الحراري أكثر من أربع درجات!

كان ذلك مذهلا. فقد كان زواله المقاومة الكهربائية بالنسبة للفيزيائي مساويا لزوال الأرض من تحت الأقدام.

اعتقد أونيس أن الجهاز تعطل، وربط مكانه الجهاز الاحتياطي. وكررت التجربة. وعندما خفض الباحثون الحرارة مجددا إلى 1 ,4 كلفن رأوا غيابا كاملا للمقاومة الكهربائية عند عمود الزئبق.

حضّر أونيس ومساعده خولست عينة جديدة من الزئبق المتصلب-وسكبا الزئبق في وعاء دقيق زجاجي وبعد ذلك جمداه، وحصلا بهذه الطريقة، على عمود زئبقي دقيق وطويل غريب. من المعروف في علم الهندسة

الكهربائية أن مثل هذه العينة يجب أن يكون لها مقاومة كبيرة. فضلا عن أن المجربين قد قرروا أن يستخدموا في التجربة الجديدة لأجل القياس غلفانومتر شديد الحساسية ذا مرآة. كان على ذلك الغلفانومتر - مقترنا بالعينة المحضرة خصيصا - أن يكشف ولو أثرا للمقاومة.

ولكن هذه المقاومة لم تكن هنا. فقد لاحظ الباحثون مجددا عند درجة الحرارة 1,4 فوق الصفر المطلق «الهرب» المفاجئ لمرآة[*2] الغلفانومتر. وبصرف النظر عن كل الاحتياطات لم تظهر المقاومة - فقد كانت مساوية للصفر. لقد دل كل شيء على أن كامرلنغ أونيس وخولست قد اكتشفا ظاهرة غير متوقعة بالنسبة لهما وبالنسبة لجميع فيزيائي العالم.

وهاهو أونيس الآن ينشر في «أنباء مخبر ليدن» مقالة عن اكتشافه. وأحدثت المقالة كثيرا من الضجة. وتبعها عشرات الأنباء الجديدة، التي أضافت إلى اكتشاف أونيس وأيدته وأثبتته.

ثم اتضح أن الزئبق ليس هو المحتكر الوحيد لخاصة الموصلية الفائقة البتة. فبعض المعادن الأخرى كالرصاص والقصدير مثلا تصبح كذلك موصلات فائقة. وخلافا للتوقعات العامة ظهر أن أحسن موصلات الكهرباء - النحاس والفضة - ليس لها مثل هذه الخاصة البتة.

لم يستطع فيزيائي واحد لفترة طويلة أن يعطي هذه الظاهرة العجيبة أساسا نظريا مقنعا إلى درجة كافية. إلا أن هذه الوقائع كانت مهمة للغاية ليس فقط من وجهة نظر «الفيزياء البحتة» فقد أحيا اكتشاف الموصلية الفائقة فورا كثيرا من المشاريع المغرية، المتعلقة بالدرجة الأولى بمجال علم الهندسة الكهربائية.

كانت المحركات الكهربائية والمولدات الكهربائية في الأعوام 1911 - 1913 التي يجري عنها حديثنا، معروفة منذ أكثر من نصف قرن، أما المحولات (التي كان اختراعها أكثر تأخرا) فأكثر بعشرات السنين. وكانت هذه المدة كافية لكي تتجسد الفكرة التقنية في تصاميم مكتملة إلى حد ما. وبكلمات أخرى، صنعت المعدات الكهربائية بكلمة التقنية الأخيرة لذلك الزمن، وكما في أيامنا بالضبط أصبحت المشكلة في تطويرها المقبل.

وفي الوقت الحاضر، ولاسيما في تلك الأزمنة، تعاني الآلات الكهربائية والمحولات وخطوط النقل الكهربائية من عيب ملموس واحد - فهي تحمى،

بالإضافة إلى أن هذا الحفي ليس ضروريا لنا، وهو ينشأ على حساب الطاقة الكهربائية بسبب قانون جول - لانس الذي لا يرحم، والذي ينص على أن كل تيار يمر بناقل ذي مقاومة كهربائية ما يصرف في هذه المقاومة قسما من طاقته.

أحيانا، تستعمل هذه الطاقة في المشعّات، والسخانات، والوسائل الكهربائية. بيد أن هذا الحمي الحار للأسلاك الكهربائية غالبا هو ضياع للطاقة الكهربائية لا فائدة منه، عرفه جيدا كامرلنغ أونيس أيضا.

ومن أجل القياسات المغناطيسية في مخبر ليدن احتاجوا إلى بناء عدة مغانط كهربائية قوية بحقل يبلغ مثلا 100 ألف إرستيد. واستطاع المغناطيس الكهربائي ذو القلب الفولاذي الذي يزن عدة أطنان أن يولد حتى 60 - 65 ألف إرستيد فقط. إضافة إلى أنه إذا وضعنا مثل هذا الغول الذي يزن عدة أطنان في المخبر، فلن يبقى مكان لأجل العمل. أي أنه كان من الضروري إنشاء ملف لولبي، أي حلزون، يمر به التيار، مشكلا حقلا مغناطيسيا قويا. غير أنه «لكل شيء عيوبه». ففي الملف اللولبي المصنوع مثلا من النحاس ستضيع عبثا استطاعة هائلة! وبمساعدة الموصلات الفائقة فقط يمكن أن نتخلص من هذه الضياعات وأن ننشئ مغانط كهربائية قوية حسب الطلب لأجل الأبحاث.

جذبت الفكرة البروفسور أونيس، فقد نشر عام 1913 في تلك المحتلة نفسها «أنباء مخبر ليدن» مقالة يقترح فيها بناء مغناطيس كهربائي ذي نواقل بموصلية فائقة شدته 100 ألف إرستيد، ليس له ضياعات للاستطاعة لا فائدة منها. وبالطبع لم يصنع من النحاس، بل من معدن ذي موصلية فائقة.

إلا أن الوقائع التالية أظهرت أن أونيس كان متفائلا أكثر من اللازم. فقد ثارت القوانين الفيزيائية الصارمة، على ما يبدو، ضد هذه الفكرة الجريئة. وسرعان ما أوضح أونيس بعد نشر المقالة، أنه عبر الناقل ذي الموصلية الفائقة لا يمكن أن يمر تيار مهما بلغت قيمته. فما إن تفق قيمة التيار بعض القيم (التي سميت فيما بعد بالحرجة)، حتى «يقطع» التيار الموصلية الفائقة، وبدل العينة ذات الخواص السحرية تبقى قطعة لا اعتبار إلا من الرصاص أو الزئبق أو القصدير. وظهرت هذه التيارات ضئيلة

لدرجة، أن بناء مغناطيس من مثل هذه الأسلاك كان عمليا دون فائدة. وهذا ليس كل شيء أيضا. إذ سرعان ما اكتشف بعد اكتشاف أونيس أنه ليس التيار وحده قادرا على قطع الموصلية الفائقة. فقد زالت الموصلية الفائقة أيضا تحت تأثير الحقول المغناطيسية الصغيرة جدا، والتي لا تتجاوز مئات من وحدة الإرستيد. أما كامرلنغ أونيس فقد حلم بمئات الألوف!

مع الأسف لم يُقدّر لأحلام أونيس القزحية عن «وردة دون شوك» - عن هندسة كهربائية دون مقاومة كهربائية - أن تتحقق. فقد أظهرت أولى الأبحاث أن النواقل ذات الموصلية الفائقة المكتشفة في زمن أونيس - الزئبق والقصدير والرصاص - لا يمكنها أن تدور في دائرة ولو تيارا كهربائيا كبيرا لدرجة ما دون تخريب حالة الموصلية الفائقة. وبهذا الشكل، لم تتم الثورة التقنية التي ابتكرها أونيس، ودخلت الظاهرة المدهشة للموصلية الفائقة على ما يبدو إلى الأبد في الدروس التطبيقية الفيزيائية الطلابية بوصفها أعجوبة فيزيائية طريفة، بوصفها مجسدا للحركة الأبدية. دار التيار بدوائر رصاصية ذات موصلية فائقة مغطسة في الهليوم السائل، في العديد من مخابر العالم للحرارة المنخفضة، خلال سنين عديدة من دون أن يفقد طاقته، مع أنه صغير جدا.

لم يبق مجال للشك أن الموصلية الفائقة ليست أكثر من لعبة فيزيائية، ظاهرة شاذة مثيرة لفضول الفيزيائيين. ولعل هيكه كامرلنغ أونيس الذي آمن فيما بعد بذلك، ابتعد عن النشاط الفعلي، تاركا مخبر ليدن لتابعيه ف. كيزوم وف. دي خاز.

يعود لكيزوم المؤلف الأساسي «الهليوم». وقد جمع في هذا الكتاب كل ما عرف عن الهليوم، من تاريخ اكتشافه حتى خواصه في الحالة السائلة.

وأجرى دي خاز أبحاثا عديدة للحرارة المنخفضة، والخلائط ذات الموصلية الفائقة. واكتشف هو والفيزيائي السوفييتي ل. ف. شوبنيكوف، المتمرن في مخبر ليدن ظاهرة سميت بـ «أثر شوبنيكوف - دي خاز».

ففي بداية الثلاثينيات اكتشف أنه يوجد العديد من خلائط المعادن المختلفة، تزول فيها الموصلية الفائقة عند حقل مغناطيسي أكبر بكثير من ذلك الذي عرفه أونيس. فمثلا تجاوز الحقل المغناطيسي الحرج من خليط الرصاص مع البزموت 15 ألف إرستيد. انتعش الفيزيائيون، مع أننا مازلنا

بعيدين عن الوصول إلى مئات الآلاف من الإرستيد، التي حلم بها أونيس.

وكأنه ظهر إمكان لإنشاء مغانط كهربائية دون ضياعات، وإن لم تكن لمئات آلاف الإرستيد، فلخمسة عشر ألفا. وأمكن لمثل هذه المغانط أن تستخدم في الآلات الكهربائية. وربما أمكن استخدام خليط الرصاص مع البزموت في المغانط المخبرية، صحيح أنها ليست قوية، ولكنها كبيرة من حيث حجم المنطقة العاملة.

بيد أن الظروف سارت على نحو غير ملائم. فقد تدخل في العمل المدير الجديد للمخبر كيزوم. وأوضح عند قياسه التيار الحرج لسلك من خليط الرصاص مع البزموت أن هذا التيار قليل للغاية، ولا يمكن أن يصنع من مثل هذا السلك مغناطيس قيم بدرجة ما.

عندما عرف العاملون في المخبر استنتاجات كيزوم قرروا التخلي عن الموصلات الفائقة الموصلية «التي لا مستقبل لها». وهكذا «أغلقت» المغانط ذات الموصلية الفائقة للمرة الثانية[*3].

في تلك السنين اكتشف الفيزيائي السوفييتي بطرس ليونيدوفتش كيسه ظاهرة لا تقل أهمية عن الموصلية الفائقة هي السيولة الفائقة للهليوم السائل. اهتم الليدنيون بالموضوع الجديد لما له من آفاق واسعة وتخلوا عن الاهتمام بالموصلية الفائقة نهائيا.

إن الاستنتاجات المتشائمة لكيزوم قد أثرت على الفيزيائيين الإنجليز العاملين في أكسفورد على ما يبدو. فقد نبذوا الخلائط ذات الموصلية الفائقة وتابعوا البحث فقط بالمعادن ذات الموصلية الفائقة. وقد حققوا النجاح هنا على ما يبدو، فقد صنعوا عدة اكتشافات مهمة، وكأنها تؤكد اختيارهم. كانت هذه النجاحات الخاصة مع الأسف مجرد طعم غادر من الطبيعة، التي كما لو أنها بصونها لأسرارها، استدرجت البحاثين إلى أدغال غابة كثيفة عقيمة. بهذا الشكل أوقفت مجموعة أكسفورد المجهزة بصورة رائعة أبحاث الموصلات الفائقة الموصلية ذات الآفاق الواسعة.

وفي الوقت نفسه تقريبا عملت في خاركوف مجموعة كبيرة من الفيزيائيين، على رأسها الدكتور ل. ف. شوبنيكوف. إن علماء العالم يجمعون على أن مجموعة شوبنيكوف كانت الأحسن بتجهيزاتها وبمعرفتها علم الفلزات للخلائط ذات الموصلية الفائقة. وقد تابعت مجموعة خاركوف

اهتمامها بالخلائط، غير مصدقة استنتاجات كيزوم غير المبرهنة. فكانت هذه الأعمال أساسا للنظريات اللاحقة، وللتجارب والاكتشافات. إلا أن المجربين الخاركوفيين أيضا لم يتمكنوا لأسباب عديدة أن يكتشفوا الخلائط الفائقة الموصلية، المستقرة بالنسبة لتأثير الحقول المغناطيسية القوية.

لم تمنح الموصلية الفائقة الغامضة الراحة والهدوء للعلماء النظريين أيضا. فأول من ألقى الضوء على طبيعة الموصلية الفائقة الأكاديمي الفيزيائي السوفييتي المشهور ليف دافيدوفتش لانداو، الذي عمل وقتا طويلا في معهد المسائل الفيزيائية. إن هذا العالم الكبير المتعدد المزايا يتمتع بهيبة لا شك فيها في أوساط الفيزيائيين. وكانت جملته القصيرة التي يكتبها على عمل علمي لشخص ما: «أصادق، لانداو» مقبولة دائما بوصفها أوسع مقالة علمية حماسية.

ولانداو هو أول من قارن بين ظاهرتين «عجيبتين»-بين الموصلية الفائقة والسيولة الفائقة - سيلان الهليوم - 2 السائل عبر الأوعية الضيقة دون احتكاك. وافترض أن هاتين الظاهرتين متشابهتان. الموصلية الفائقة - هي سيولة فائقة لسائل فريد من نوعه للغاية - هو الإلكتروني.

وقد تبين أن فكرة لانداو مثمرة للغاية، فقد بنيت بالاعتماد عليها أغلبية نظريات الموصلية الفائقة.

وقد قام بالخطوة التالية في الوقت نفسه تقريبا الأكاديمي الفيزيائي السوفييتي ن. ن. بوغولوبوف والفيزيائيون الأمريكيون باردين وكوبير وشريفر. كانت النظرية التي أعدوها معقدة جدا حتى بالنسبة للفيزيائيين. فعلى سبيل المثال، في أعمال نيقولاي نيقولايفنش بوغولوبوف، المكرسة لهذه النظرية، نقرأ مجرد كلمتين إلى ثلاث كلمات «إنسانية»، وبالإضافة إلى ذلك «من المعلوم أن... بالتالي، إذن، لدينا، وهو المطلوب برهانه، أما البقية، فهي الأعضاء الدوارة، الإنفراجات، التفاضلات، التكاملات، عوامل لابلاس، المحددات وما إلى ذلك من بهلوانيات الرياضيات التجريدية.

اعتمدت نظرية ن. ن. بوغولوبوف ونظرية باردين، وكوبير وشريفر «نظرية ب. ك. ش» على افتراض أن الإلكترونيات الفائقة الموصلية، خلافا للعادية، مجتمعة أزواجا، ومرتبطة ارتباطا وثيقا فيما بينها. وفك الزوج وتفريق الإلكترونات صعب للغاية. إن مثل هذه الارتباطات القوية تسمح

للإلكترونات بأن تتحرك في المادة مساعدة بعضها البعض دون أن تلقى مقاومة كهربائية.

كانت أعمال العضو المراسل لأكاديمية العلوم في الاتحاد السوفييتي ألكسي ألكسيفتش أبريكوسوف إنجازا عظيما في وضع نظرية الموصلية الفائقة. فقد أثبت نظريا الحدس القديم لشوبنيكوف عن تفوق الخلائط ذات الموصلية الفائقة على المعادن فائقة الموصلية، وافترض وجود نواقل ذات موصلية فائقة من طراز جديد - «النواقل ذات الموصلية الفائقة من النوع الثاني». وقد منح أ. أ. أبريكوسوف لوضعه هذه النظرية عام 1963 جائزة لينين.

وهكذا تؤكد النظرية أنه يجب أن تولد في المخابر الفلزية من يوم إلى يوم خلائط تمتاز بخصائص رائعة حسب تنبؤات أبريكوسوف.

وهاهو الفيزيائي الأمريكي يكتشف عام 1961، وهو يدرس خليط النيوبيوم والقصدير، خواص فائقة الموصلية خيالية تماما لهذا المركب. واتضح أنه حتى أقوى حقل مغناطيسي ويبلغ 88 ألف إرستيد، والموجود وقتئذ في الولايات المتحدة، غير قادر على تخريب الموصلية الفائقة للخليط.

افتتح الطريق إلى المغانط الفائقة الموصلية، وإلى الآلات الكهربائية ذات الموصلية الفائقة.

إن الانتشار الواسع في أثر البحث عن نواقل ذات موصلية فائقة أدى إلى اكتشافات مثيرة. وعثر في العديد من البلدان على مواد جديدة ذات موصلية فائقة لم تفقد خواص الموصلية الفائقة حتى بوجود تيارات كبيرة جدا، وفي حقول مغناطيسية قوية. وقد أصبح ممكنا الآن المباشرة في صنع أسلاك وكوابل وصفائح من مواد فائقة الموصلية، وفي الاستخدام التقني للموصلية الفائقة.

كانت المغانط الكهربائية المخبرية أول مجال، عندما أحرزت النواقل ذات الموصلية الفائقة بثبات مكانها المناسب.

وإن العاملين الآن في جميع مخابر العالم، التي يجري فيها أبحاث حول الظواهر الفيزيائية والكيميائية وغيرها ضمن مجال حقول مغناطيسية تتراوح بين ثلاث إلى عشر تسلات[4*]، لا يترددون في اختيار طراز المغناطيس لأجل تلك الشروط. فالمغانط ذات الموصلية الفائقة أخف وأرخص وأكثر

توفيرا من المغانط الكهربائية العادية. ولأقوى المغانط ذات الموصلية الفائقة حقل من رتبة (14 - 15) تسلا، أما المغناطيسي القياسي «هيبرون» الذي صنع في معهد الطاقة الذرية المسمى باسم ي. ف. كورتساتوف فهو يعطي حقلا يبلغ 25 تسلا.

وحتى صناعة توليد الطاقة الكهربائية بطبيعة الحال لم تستطع أن تهمل الإمكانات الواسعة لاستخدام المواد ذات الموصلية الفائقة. ويمكن أن نشير مثلا إلى المحركات وحيدة القطب التي صنعت في مختلف البلدان بملف تحريض ذي موصلية فائقة، والتي بلغت استطاعتها 10 آلات كيلو وات. إن هذه المحركات تتفوق على الآلات المماثلة ذات ملف التحريض النحاسي من جميع النواحي - الوزن، والحجم، والثمن، وتكاليف التشغيل، وضمانة العمل.

تبدو أخاذة آفاق استخدام النواقل ذات الموصلية الفائقة خصوصا مادة لملفات الآلات الكهربائية الضخمة-المولدات العنفية والمولدات المائية-التي تنشأ في المحطات الكهربائية القوية. تنمو استطاعتها كل سنة. هذا ليس إطلاقا ولعا بالعمالقة، بل هو طلب الزمن: فكلما كانت استطاعة وحدات الماكينات الواحدة ومردودها أكبر، كانت التكاليف النوعية لتصنيعها أقل، وحجم أعماله البناء في المحطات الكهربائية أقل، والاستثمار أرخص، وإدخال استطاعات جديدة لتوليد الطاقة أسرع، ووتائر الكهربة أعلى.

إن إمكان رفع استطاعة الآلات الكهربائية مع الأسف ليست بلا نهاية. فمولد المحطة الكهربائية الحكومية لناحية كوستروم في الاتحاد السوفييتي الذي تبلغ استطاعته 120 ألف كيلو وات مع تبريد بالهيدروجين والماء هو مولد قد قربت استطاعته على ما يبدو من الحد الأقصى المتوقع لهذا الطراز من التصاميم.

لو أمكن صنع ملف تحريض للآلة الكهربائية (هو في جوهر الأمر كهربائي ذو شكل خاص) من نواقل ذات موصلية فائقة، لحل ذلك فورا جملة من المشاكل. فأولا، يزول حمي الملفات. وثانيا، تنمو الحقول المغناطيسية والتيارات في الآلة عدة أضعاف، مما يؤدي إلى تقليل حاد في أبعاد الآلات. وتظهر الأبحاث المنجزة أن المولد الذي استطاعه مليونا كيلو وات بملف تحريض ذي موصلية فائقة أمكن أن تكون له أبعاد أقل من المولد العادي

الأقل استطاعة بعشر مرات. وليس عبثا الآن وضع مسألة صنع مولدات كهربائية فائقة القدرة بنواقل ذات موصلية فائقة في عداد أهم المسائل.

هل وجود هذه التصاميم أمر بعيد؟ وأي واقع يمكن أن نقصده ونحن نتحدث عن آفاق تفاؤلية بهذا المقدار؟

في رأي أحد مصممي نظام التبريد للمولدات العنفية العالم السوفييتي ي. ف. فيليبوف، أنه قد أصبح الآن موجودا أساس لاعتبار مسألة إنشاء مولدات عنفية اقتصادية بنواقل ذات موصلية فائقة أمرا محلولا. إن الحسابات والأبحاث التمهيدية تدفع إلى التفاؤل بأنه لا الأبعاد والكتلة فقط، بل مردود الآلات الجديدة أيضا سيكون أعلى بالمقارنة مع مردود أكثر المولدات اكتمالا ذات التصميم التقليدي.

إن رؤساء العمل الأكاديمي ي. أ. غليبوف، والدكتور في العلوم التقنية يا. ب. دانيلوفتش، وف. ن. شاختارين، يشاركون في هذا الرأي لإنشاء مولدات عنفية جديدة بنواقل ذات موصلية فائقة من طراز ك. ت. ج. جرب المولد ك. ت. ج - 20 باستطاعة 20 ميغاوات في ربيع عام 1982 ونقل عام 1983 إلى إحدى المحطات الكهربائية في لينينغراد. وقد سمحت نتائج التجارب بمباشرة بناء وحدة ماكينات ذات موصلية فائقة باستطاعة أكبر بكثير. وسيبنى حتى عام 1985 في مصنع «إلكتروسيلا» مولد ذو موصلية فائقة باستطاعة 300 ميغاوات. وبهذه الأعمال افتتح عصر جديد في تطور علم الطاقة السوفييتي.

أي فائدة ملموسة إذن ينوي الاختصاصيون الحصول عليها، ببنائهم للمولدات العنفية ذات الموصلية الفائقة؟ الشيء الأهم، تصغير الكتلة والحجم، وزيادة المردود (تقريبا لواحد بالمائة)، ورفع استقرار نظام توليد الطاقة. يمكن الإشارة أيضا إلى مجموعة من المزايا الاقتصادية المحددة: ضياعات أقل، وقاعدة مخففة، ونظام تحريض قليل الاستطاعة، وخفة في النقل، ورخص التجميع، وتكاليف أساسية منخفضة. ومن الطبيعي أن يكون المولد العنفي ذو الموصلية الفائقة والذي استطاعته 1300 ميغاوات بطول نحو 10 أمتار وكتلة 280 طنا. بينما يبلغ طول الآلة المماثلة ذات التصميم العادي أكثر من 20 مترا، وكتلتها 700 طن.

وكذلك تلغي المولدات ذات الموصلية الفائقة من جدول الأعمال «الحد

الأقصى للاستطاعة»معطية إمكانا خياليا لبناء آلات باستطاعة تصل إلى 20 ألف ميغاوات، بينما هذا الحد الأقصى للتصاميم العادية أقل بعشر مرات.

يعير الآن الاتحاد السوفييتي وغيره من بلدان العالم المتطورة صناعيا اهتماما كبيرا بالوحدات الهيدروديناميكية المغناطيسية أي بالنماذج الأصلية للمولدات الكهربائية العالية الاقتصادية، التي تحول مباشرة الطاقة الحرارية إلى كهربائية. إن العنصر الأهم للوحدات الشبيهة هو مغناطيس كهربائي ضخم. فمثلا يحتاج إنشاء مولد هيدروديناميكي مغناطيسي باستطاعة مليوني كيلووات إلى إنشاء حقل مغناطيسي بقيمة 6 تسلا في حجم 15X5X5م^3 ولأجل إنشاء مثل هذا المغناطيس الهائل بوسائل عادية، أي بمساعدة الملفات النحاسية، يحتاج الأمر إلى صرف استطاعة أقل بقليل فقط من تلك التي سيولدها المولد. فقط المغانط ذات الموصلية الفائقة والاقتصادية تمكن من حل هذه المسألة المهمة.

إن الوحدات النووية الحرارية لتوليد الطاقة، التي يحتمل إنشاؤها في المستقبل القريب لها مثل هذا الوضع نفسه. والعنصر المهم في هذه المولدات، هو الوقود الذي سيستخدم الماء العادي، وهو كذلك النظام المغناطيسي القوي بمثل هذه القيم العالية للحقل المغناطيسي الذي لا يمكن تأمينها بمساعدة النظم المغناطيسية العادية. ولا حل لهذه المسألة على ما يبدو دون استخدام المواد ذات الموصلية الفائقة.

وعلى هذا النحو يبدو أن علم الطاقة في المستقبل يعتمد بدرجة كبيرة على إنشاء نظم مغناطيسية ذات موصلية فائقة قوية. ولحسن الحظ تبدو الآفاق هنا مشجعة جدا. فمادامت المواد ذات الموصلية الفائقة غالية جدا، تنخفض باستمرار الكلفة وتتراكم تجربة الأعمال مع المعدات المنخفضة الحرارة ومباشرة مع النظم المغناطيسية ذات الموصلية الفائقة الضخمة، ويمكن أن نؤكد بثقة أنه في السنين القريبة سيصبح حقيقة تماما بناء نظم مغناطيسية ذات موصلية فائقة بحقل يبلغ عدة تسلات، منشأ بحجم عامل من رتبة أمتار مكعبة.

... وها قد مضى أكثر من نصف قرن وطلبات الاختراع تتدفق بسيل مستمر إلى مكاتب الاختراع في مختلف البلدان، يقترح فيها واضعوها نقل

الطاقة الكهربائية بالكبول العاملة بدرجات حرارة منخفضة، ومن ضمنها ذات الموصلية الفائقة. بيد أنه من زمن قريب فقط، مع اكتشاف مواد جديدة ذات موصلية فائقة أمكن لهذه الفكرة أن تتحقق في الحياة، مع أنها الآن-على شكل وحدات تجريبية فقط. إن أول خطوط نقل الكهرباء ذات الموصلية الفائقة - هي أنابيب من الألومنيوم، مطلية بطبقة رقيقة من خليط النيوبيوم وموضوعة داخل خط أنابيب يدور فيه الهليوم السائل. إن خط الأنابيب هذا موضوع بدوره في خط أنابيب يحتوي على آزوت سائل يشكل حاجزا حراريا خاصا. بصرف النظر عن التعقيد الظاهر وغلاء مثل هذا التصميم فهو كما تظهر الحسابات التي تأخذ بالحسبان ثمن ضياعات الطاقة الكهربائية في الخطوط العادية، قادر على منافستها تماما، وبتخفيض ثمن المواد ذات الموصلية الفائقة سيكون أقل منها ثمنا.

يمكن أن نبرهن على أن خطوط نقل الكهرباء القوية ذات الموصلية الفائقة ستكون أرخص من العادية. إذ تبين الأبحاث التي جرت في الولايات المتحدة الأمريكية على كبول عالية الاستطاعة ثلاثية الأطوال ذات موصلية فائقة، أن النفقات النوعية لتجهيز مثل هذا النقل أقل بمرتين تقريبا منه لأجل مجموعة الكبول العادية.

بمساعدة النواقل ذات الموصلية الفائقة، نحتمل أنهم سيتمكنون في النهاية من تحقيق الحلم المنشود للاختصاصيين في علم الطاقة - وهو حفظ كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية. من المعلوم أن الطاقة الكهربائية هي منتوج - إذا كان يمكن الإفصاح هكذا - ذو استهلاك فوري. فالطاقة الكهربائية المنتجة من الضروري صرفها فورا، والمدخرات الصغيرة لا تدخل في الحساب. فلم نتعلم بعد حفظ كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية إلى اللحظة المطلوبة. وأخيرا نحن مضطرون لكي نؤمن الحدود القصوى القصيرة المدة للأحمال، أن نملك في شبكة الطاقة احتياطات هائلة غالية الثمن من استطاعات للطاقة تشتغل فقط في لحظة ذروة الاستهلاك. ولو امتلكنا «مخازن للطاقة الكهربائية»، لما كنا أنشأنا مثل هذه الاحتياطات الغالية الثمن، وذلك بإعطاء الطاقة من المخزن على قدر الحاجة.

5 جوع إلى الطاقة أم وفرة فيها؟ (*)

الوفر في احتياطي الطاقة يتناقص

ماذا ينتظر الإنسانية: جوع طاقيّ أم وفرة في الطاقة؟ إن هذا السؤال الذي قلّما فُكّر فيه منذ أكثر من نصف قرن، يكتسب في أيامنا اهتماما عاما. فلا تفارق صفحات الجرائد والمجلات مقالات عن أزمة الطاقة، تنشأ الحروب وتتغير الحكومات بسبب النفط. ولتفريغ الضجة أصبح الصحفيون والقراء أيضا ينقلون الأنباء عن تشغيل وحدات طاقة جديدة أو عن الاختراعات، التي بوساطتها يمكن «صنع الطاقة» بطريقة جديدة. وتعد لتوليد الطاقة البرامج العملاقة، التي سيتطلب تحقيقها جهودا ونفقات مالية هائلة. وهذا بصرف النظر عن أن نمو إنتاج الطاقة دون ذلك يفوق بكثير نمو بقية أنواع الإنتاج.

إذا كانت الطاقة الكهربائية الأكثر انتشارا في وقتنا الحاضر غير متوافرة في بداية هذا القرن، فقد أنتج من الطاقة الكهربائية عام 1930 نحو 300

(*) حذفت من هذا الفصل بعض الأجزاء التي تقادمت بعض المعلومات المتضمنة فيها، وذلك دون إخلال بالسياق العام للكتاب.

مليار كيلووات ساعي، وأما في عام 1970 فأكثر من 5 آلاف مليار كيلو وات ساعي.

إن التنبؤ القائل إنه في عام 2000 سيكون إنتاج الطاقة الكهربائية أكثر من 30 ألف مليار كيلو وات ساعي، هو تنبؤ صحيح تماما. أرقام عملاقة، ووتائر نمو مدهشة، وعلى كل حال لن تكفي الطاقة، فالحاجة إليها تنمو باستمرار.

إن المستوى المادي، وفي نهاية الأمر مستوى الثقافة الروحي للناس أيضا يتعلق مباشرة بكمية الطاقة، التي توضع تحت تصرفهم. ولكي تستخرج الخامات، وتذاب المعادن، وتبنى البيوت، ولصنع كل شيء من الضروري إنفاق طاقة. وحاجات البشرية تزداد باستمرار. هاكم مثالا صغيرا: ظهر على طرق كوكبنا في نهاية القرن الماضي أول السيارات. كان عددها بضع مئات، واحتاجت إلى بنزين قليل تماما، أقل من مائة طن في اليوم. أما اليوم فلأجل السيارات الخفيفة فقط يلزم مليون طن بنزين في اليوم. ومن الضروري استخراج بحر كامل من النفط يوميا، وتكريره وإيصاله إلى مختلف مناطق الأرض، لتعبئة خزانات الوقود. ومع ذلك فهذه ليست أكبر المستهلكين للوقود إطلاقا: فالصناعة الحديثة تستهلك طاقة أكبر بمرات عديدة. فقد أشار الاقتصاديون منذ زمن طويل إلى أن هناك ارتباطا مباشرا بين كمية الطاقة المنتجة وإنتاج السلع لكل نسمة.

فلماذا التوقف إذن؟ لقد أعد العلماء والمخترعون منذ زمن طويل طرقا عديدة لإنتاج الطاقة، وبالدرجة الأولى الكهرباء. لكن قوانين الطبيعة الثابتة تؤكد أنه يمكن الحصول على طاقة صالحة للاستعمال، فقط على حساب تحويلها من الأشكال الأخرى. والمحركات الأبدية المنتجة للطاقة والتي لا تأخذها من مكان آخر هي غير ممكنة. ونحن نحصل على أربعة من كل خمسة كيلو واتات منتجة اليوم، من حيث المبدأ بالطريقة نفسها التي استخدمها الإنسان البدائي من أجل التدفئة، أي بحرق الوقود، باستعمال الطاقة الكيميائية المختزنة فيه، وتحويلها إلى كهربائية في المحطات الكهربائية الحرارية.

بالطبع، أصبحت طرق حرق الوقود أكثر تطورا بكثير، فمراجل المحطات الكهربائية الحرارية-عبارة عن منشآت ضخمة منتجة لبخار بدرجة حرارة

وضغط لا يمكن تصورها من قبل. إلا أنه بقي الشيء الأهم، ففي أجواف المحطات الكهربائية الحرارية يحرق أكثر من 30٪ من الوقود المستخرج في العالم، ثلثه يحرق للحصول على الطاقة الكهربائية. فالقسم الأكبر من الطاقة المخزنة في الوقود إذن يضيع في غير رجعة دون أن ينجز به كل مفيد. وببساطة يقال - يطير في المدخنة - الجزء الذي لا يتجزأ من المحطة الكهربائية.

مع الأسف، إن احتياطيات النفط والغاز والفحم - وهي الوقود الأكثر شهرة في علم الطاقة الحديث - محدودة تماما. فقد احتاجت الطبيعة إلى ملايين السنين، لتكوين هذه الاحتياطات، وهي تُصرف على نحو أسرع بكثير. وحسب تقدير الخبراء، في مؤتمر الطاقة العالمي العاشر، إن جميع الاحتياطات المكتشفة في الأرض من الفحم والنفط والغاز ستكفي لمدة 175 سنة تقريبا. بالطبع، يمكن أن تكتشف مكامن جديدة، ويمكن أن تعد طرائق جديدة لاستخراج الوقود من باطن الأرض، بيد أنه على الأرجح سينمو استهلاك الطاقة أيضا. وحتى إذا أخطأ الخبراء، وكانت تنبؤاتهم متشائمة للغاية، فاحتياطي الوقود على كل حال ليس غير محدود، فهو عاجلا أم آجلا سينفد. وتضطر الإنسانية منذ اليوم أن تبحث عن منابع جديدة.

وقد أولى العلماء اهتماما، بحثا عن منابع وقود إضافية، ببعض أنواع النباتات التي يتشكل في أنسجتها هيدروكربونات وقودية، تشبه بتكوينها تلك الموجودة في النفط. «النفط البيولوجي» في بعض المدلولات أحسن حتى من النفط المستخرج من باطن الأرض، ففيه عمليا يغيب كليا الكبريت وغيره من الشوائب الضارة.

يحاول العلماء بطرف مختلفة استعمال النباتات لإنتاج الوقود. أول هذه الطرق استخلاص الهيدروكربونات الوقودية من عصير النباتات.

وتأمل الشركة الإنجليزية «ليدفري كميكالز» أن تحصل على بنزين ووقود ديزل من الملفوف البحري. وبرأي الأمريكي ملفن كلفن، عالم الكيمياء البيولوجية والحائز على جائزة نوبل، أنه يمكن الحصول على نفط سائل من اليتوع والحسك وغيرها من الأعشاب الضارة النامية على جوانب الطرقات، وبكميات كبيرة أيضا إلى حد ما-أي لا أقل من 1500 لتر من الهكتار. ومن وجهة نظر الحصول على «نفط بيولوجي» أيضا ثمة آفاق في

الشجر النامي في الفيليبين الذي يحوي على جوز «نفطي». وقد استعمل اليابانيون هذا الجوز أثناء الحرب العالمية الثانية، إذ ملأوا محركات الدبابات بالزيت المعصور منه، دون معالجة إضافية. وتنمو في الغابات الرطبة للأمازون شجرة كوبايبو، التي يبلغ ارتفاعها ثلاثين مترا. فمن حز واحد على جذع هذه الشجرة يمكن أن يتجمع بساعة واحدة نحو 20 لترا من وقود الديزل الممتاز، ويمكن ملؤه مباشرة في خزان سيارة الشحن.

الطريق الآخر هو الحصول على الكحول الصالح تماما لتزويد السيارات من الخام النباتي. وقد صنعت الآلات العاملة على الكحول في مختلف البلدان، وتستهلك كحولا كثيرا خاصة السيارات في البرازيل. واخترع العلماء الهولنديون جهازا خاصا يسمح بتزويد السيارات بالبنزين العادي وبالكحول على حد سواء أو بخليطهما بأي نسبة.

أنشأ المخترعون الكوبيون الشباب محرك احتراق داخلي، يعمل على الغاز البيولوجي - الوقود الذي يحصل عليه عند تحلل الفضلات العضوية.

يمكن أن يتراءى، أن مثل هذه النجاحات لعلم الطاقة البيولوجية تقدر أن تستخرج الوقود الضروري مباشرة من الحقول أو من الغابات، إذا نفد الوقود الطبيعي. إلا أن الأمر ليس كذلك، فقد حسب العلماء أن كل الناتج النباتي يمكنه أن يغطي 40٪ فقط من الحاجة إلى الوقود.

وتصبح حادة أكثر فأكثر المشكلات المتعلقة باستخدام حتى أنواع الوقود التقليدية. ويضطر لاستخدام المكامن الأكثر بعدا، والحفر الأكثر عمقا في الأرض، وتنشأ صعوبات أكثر في جلب الوقود إلى أماكن استهلاكه. آلاف ناقلات النفط تجوب رحاب المحيطات العالمية، وتتشابك الشرايين الفولاذية لخطوط الأنابيب في الكرة الأرضية. ويرتفع سعر نقل الوقود، وأحيانا نقله ببساطة غير مربح اقتصاديا. وقد حسب الاختصاصيون، مثلا، أنه من غير المجدي اقتصاديا نقل الفحم الموجود باحتياطات هائلة في سيبيريا وشمال كازاخستان إلى أماكن الاستهلاك التقليدي؟ فهو يصبح غاليا جدا من خلال نقله. يوجد بالطبع مخرج من الممكن تقريب مستهلكي الطاقة من احتياطيات الوقود. على أنه يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية هناك، حيث يوجد الوقود، ومن ثم إرسالها إلى المستهلكين عبر خطوط النقل.

يتحقق في الاتحاد السوفييتي كلا الطريقين بنجاح. ويمسك الناس

السوفييت بناصية الموارد التي لا تحصى في سيبيريا والشرق الأقصى، وتبنى مصانع ومعامل جديدة، وتنشأ مجمعات الوقود وتوليد الطاقة.

لابد من أن تنتقل الطاقة الكهربائية لمسافات كبيرة. وهذا مرتبط، أولا، بأن 80٪ من مصادر الطاقة تقع عندنا في شرق البلاد، أما 80٪ من مستهلكي الطاقة و 80٪ من السكان-فيقعون في القسم الأوروبي. ومن المستبعد في المستقبل القريب أن يتغير هذا الترابط بصورة ملموسة. وثانيا، من الضروري لنا نقل كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية بسبب الامتداد العظيم للبلاد من الشرق للغرب. فعندما يزحف الليل إلى شرق البلاد، يبدأ وراء الأورال يوم العمل، وينمو استهلاك الطاقة بصورة حادة. وعندما ينتهي العمل في القسم الأوروبي من البلاد، تهب شغيلة الشرق الأقصى إلى الماكينات والآلات. وكما هو معلوم، لم نتعلم بعد تخزين الطاقة الكهربائية بكميات كبيرة. فينبغي على الطاقة المنتجة أن تنفق فورا. وعلاوة على ذلك من غير الممكن فصل المحطة الكهربائية العصرية لفترة أيضا.

إن مشكلة نقل كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية لمسافات بعيدة معقدة تعقيدا غريبا. فقسم من الطاقة أثناء النقل يصرف على تسخين الأسلاك، أي ينفق دون فائدة تماما. ومن أجل خفض هذه الكميات الضائعة نضطر إلى رفع التوتر، الذي به تنقل الطاقة. وإذا عُدّ توتر خطوط النقل البالغ مائة ألف فولت منذ خمسين سنة قياسيا، فاليوم تبنى خطوط نقل يفوق التوتر فيها مليون فولت! ولتجهيز مثل هذا النقل يتحتم علينا حل العديد جدا من المسائل المعقدة: العلمية، والهندسية وحتى البيئية: لأنه ليس من الواضح تماما، كيف ستسلك الكائنات الحية في المجال الكهرطيسي القوي، الذي ينشأ بالقرب من مثل هذه الخطوط.

ويمكننا أن نثق من أنه في النهاية ستذلل كل الصعاب - العلمية والهندسية - بجهود عشرات الآلاف من الاختصاصيين في علم الطاقة. فسيول الطاقة المتولدة في المحطات الكهربائية، ستنمو باستمرار. بيد أنه لا أحد يستطيع اجتياز العقبة الرئيسية لتطور علم الطاقة الحرارية وهي محدودية احتياطي الوقود.

في كل مكان من العالم يهتم العلماء والمهندسون أكثر فأكثر بالبحث عن منابع جديدة للطاقة، يمكنها أن تتنافس مع الطاقة الحرارية التقليدية، وأن

تأخذ على عاتقها ولو جزءا من أعمال تزويد الإنسانية بالطاقة. ويبحث العلماء والمهندسون بمختلف الطرائق عن حل للمسألة. وبالطبع، فالأكثر إغراء هو استعمال منابع طاقة متجددة «أبدية»، طاقة المياه الجارية والرياح، والمد والجزر في المحيطات وحرارة باطن الأرض، والطاقة التي تصل إلى الأرض بسيل مستمر من نجمنا - الشمس.

بطريقة أرخميدس

عرف الناس منذ أقدم الأزمنة، أن كل الحياة على الأرض مرتبطة بالحرارة القادمة من الشمس.

وفعلا، فالطاقة القادمة إلى الأرض من الشمس عظيمة. وترسل الشمس إلى الأرض ثلاثة أيام طاقة، تعادل ما يحتويه كل الاحتياطات المكتشفة من الوقود. مع أن ثلث هذه الطاقة يصل إلى الأرض فقط - والثلثان الباقيان ينعكسان أو يتشتتان في المحيط الجوي - وحتى هذا الثلث يزيد أكثر من ألف وخمسمائة مرة من كل منابع الطاقة الباقية التي يستخدمها الإنسان لو أخذت بكليتها! والوقود الذي يستخدم في علم الطاقة الحديث مدين بمنشئه للشمس. وقد حولت الشمس النباتات بوساطة طاقتها هذه وبمساعدة التركيب الضوئي إلى كتلة خضراء، وتحولت النباتات بدورها بنتيجة عمليات طويلة إلى فحم. وبفضل الشمس بالذات تحدث دورة الماء في الطبيعة، مؤمنة لنا طاقة الأنهار والمحيطات.

بيد أن ما هو مغر بوجه خاص هو فكرة استخدام طاقة الشمس مباشرة، من دون انتظار تشكل الوقود. وقد عرف القدماء أنه بجمع أشعة الشمس في نقطة، يمكن الحصول على درجة حرارة عالية. ففي أنقاض العاصمة القديمة فينيقيا في بلاد ما بين النهرين عثر على عدسات بدائية صنعت منذ القرن السابع قبل الميلاد. ووجب إشعال النار المقدسة في المعبد الروماني القديم فيستا، بنار «نظيفة» فقط، ناتجة من الأشعة الشمسية. وخلف لنا أرخميدس العظيم بحثا «عن العدسات». وتنص الأسطورة التي رواها الشاعر البيزنطي ستسيس على أن أرخميدس تمكن من إحراق الأسطول الروماني المحاصر لسيراكوزا، مقترحا على النساء توجيه البقع المنعكسة من أشعة الشمس عن مراياهن في نقطة واحدة.

وقد عد هذا الوصف على مدى القرون خيالا، إلا أن بعض الباحثين المعاصرين، مثل م. س. جيتومرسكي، يثبتون الإمكان التقني لوجود حقيقي «لمرايا أرخميدس» المحرقة.

أحدثت البساطة الظاهرة، للحصول على الحرارة من تركيز الأشعة الشمسية، تفاؤلا لا أساس له أكثر من مرة. فمنذ مائة، سنة عام 1882، نشرت المجلة الروسية «تكنيك» خبرا عن استخدام الطاقة الشمسية في المحرك البخاري: سمي المحرك البخاري بـ (الإنسولاتور)[1]، الذي يسخن فيه المرجل بوساطة الأشعة الشمسية المجمعة من أجل هذا الهدف بمرايا عاكسة منصوبة خصيصا. واستخدم العالم الإنجليزي جون تندال مرايا مخروطية متشابهة بقطر كبير جدا عند بحث حرارة الأشعة القمرية، واستفاد البروفسور الفرنسي أ. ب. موشو من فكرة تندال، مستخدما إياها للأشعة الشمسية، وحصل على حرارة كافية لتشكيل البخار. ووصل الاختراع، الذي طوره المهندس بيف، إلى درجة من الكمال، يمكن معها اعتبار مسألة استعماله الحرارة الشمسية محلولة نهائيا بالمعنى الإيجابي».

وقد اتضح أن تفاؤل المهندسين الذين صنعوا«الإنسولاتور»، سابق لأوانه. الآن فقط، أي بعد مائة سنة ونيف بدأ يتشكل العلم ، المهتم بمسائل استخدام الطاقة الشمسية في التوليد: علم الطاقة الشمسية.

فيم إذن تكمن صعوبة استخدام مثل هذا المنبع الوافر للطاقة، كما يبدو، الذي لا تقضي الضرورة بالحديث عن وفرته؟ أليست الشمس تضيء في كل مكان وفي كل يوم؟ فمن الكمية الضخمة العامة للطاقة القادمة من الشمس، يصل إلى كل متر مربع من سطح الأرض، قليل جدا - من 100 إلى 200 وات منوطة بالإحداثيات الجغرافية. لذلك، ولكي نحصل على استطاعة ملحوظة، يجب جمع هذا التدفق من سطح كبير وتركيزه. وبالطبع، يشكل حيرة كبيرة ذلك الظرف البديهي، بأنه يمكن الحصول على هذه الطاقة بالنهار فقط. ويضطر في الليل إلى استخدام منابع أخرى للطاقة أو بشكل ما تجميع الطاقة الشمسية وتخزينها.

يتطلع العلماء الآن إلى عدة طرق لاستخدام الطاقة الشمسية. أولها استخدام الحرارة الشمسية لتسخين ناقل ما للحرارة، لكي تستهلك هذه الحرارة بعد ذلك مباشرة أو من أجل تحويلها إلى أشكال أخرى للطاقة،

بالدرجة الأولى إلى طاقة كهربائية.

وتجهز الآن، في مختلف البلدان، تصاميم المحطات الكهربائية، التي يحصل بها على البخار من الماء المسخن بالأشعة الشمسية. وستبنى في الاتحاد السوفييتي محطة كهربائية شمسية اختبارية على شاطئ القرم المشمس - بالقرب من كيرتشو.

ينتظر المصطافين، القادمين للراحة بعد عدة سنوات، منظر غير مألوف ومؤثر. سينصب مولد بخار على برج هائل بارتفاع بناء من خمسة عشر طابقا. وتوضع حول البرج بدوائر متمركزة الهليوستات، وهي منشآت شمسية معقدة، قلب كل منها عبارة عن مرآة ضخمة. ويضطر بناؤو المحطة الكهربائية لحل مسألة صعبة؛ لأنه يجب ترتيب كل المنشآت الشمسية (وهي كثيرة جدا نحو 1600!) بهذا الشكل، بحيث لا تقع منشأة واحدة في الظل عند كل وضع للشمس في السماء، وأن تقع البقعة الشمسية المرسلة من كل مرآة على رأس البرج بدقة، على المرجل البخاري. ولذلك جهزت كل منشأة شمسية بنظم خاصة من أجل تدوير المرآة، أما التحكم بحركة المنشآت الشمسية فقد كلفت به الآلة الحاسبة الإلكترونية، فذاكرتها العظيمة وحدها قادرة على استيعاب مسارات حركة المرايا كلها، فضلا عن أنها متغيرة كل يوم أيضا، لأن الشمس تتحرك كل يوم بمقدار يختلف قليلا جدا.

تحت تأثير الحرارة الشمسية المركزة بالمنشآت الشمسية سيتحول الماء في مولد البخار إلى بخار ذي ضغط عال. وسيدوّر البخار مولدا عنفيا، وسيسيل في الشبكة الكهربائية للقرم نهير جديد من الطاقة، التي ولدتها الشمس. بالطبع سوف تكون استطاعة هذه المحطة الكهربائية الاختبارية صغيرة تماما - 5 آلاف كيلو وات فقط، ولكننا نذكر أن أول محطة كهربائية ذرية كانت استطاعتها مثل هذه بذاتها.

مازال أمام العلماء والمهندسين كثير من المسائل الصعبة تتطلب الحل. كيف ندخر الطاقة الشمسية، لكي تعمل المحطة في الطقس السيئ، وفي الليل؟ كيف سنحمي المرايا من التوسخ؟ بيد أن أطول طريق يبتدئ بالضبط من الخطوة الأولى. لقد سمحت المحطة الكهربائية الشمسية في القرم بتنفيذ هذه الخطوة على طريق الحصول على كميات لا يستهان بها من الطاقة الكهربائية بوساطة الشمس.

في صحراء ولاية نيو مكسيكو في الولايات المتحدة الأمريكية وبالقرب من مدينة ألبوكركه نصبت بطارية منشآت شمسية هائلة، مؤلفة من 7500 مرآة، قياس كل واحدة منها نحو متر مربع ونصف. وأجريت في عام 1977 أول تجربة لهذه المجموعة، في ذلك الوقت كان فيها 1775 مرآة فقط، ركزت بقعها الشمسية على الهدف. وقد حمت الأشعة الشمسية بأقل من دقيقتين لدرجة البياض صفيحة فولاذية سميكة موضوعة في مكان مولد البخار العتيد.

لو كان لدى أرخميدس مثل تلك المرايا، ما فات القصاص أسطول مارسيل أبدا! وتبنى في كاليفورنيا المشمسة أول محطة كهربائية من النوع البرج «سولار - 1»، باستطاعة 10 آلاف كيلو وات. ويجري الاختصاصيون الفرنسيون في سفوح جبال البرنيه أبحاثا على محطة «تيمس» باستطاعة ألفين وخمسئة كيلو وات. وأكبر محطة مماثلة - صممها العلماء الألمان الغربيون بلغت استطاعتها 20 ألف كيلو وات.

مازالت الطاقة الكهربائية المولدة بالأشعة الشمسية أغلى بكثير من تلك التي تحصل عليها بالطرق التقليدية. ويأمل العلماء لا في حل المشكلات الفنية فحسب، بل والاقتصادية أيضا بوساطة التجارب.

إن للطاقة الشمسية «على نطاق ضيق» آفاقا مشجعة للغاية. فعلى الأرض توجد أماكن كثيرة، حيث تلفح الشمس بلا رحمة من السماء، مجففة التربة ومحرقة النباتات كليا، ومحولة الأرض إلى صحراء. ومن الممكن جعل هذه الأرض خصبة ومأهولة، من أجل ذلك يجب إيصال الماء إليها فقط، وبناء منازل مريحة. ويتطلب تحقيق ذلك كميات ضخمة من الطاقة. إن الحصول على هذه الطاقة من الشمس، ثم تحويلها إلى حليف، مسألة مهمة وملحة جدا، يعمل على حلها علماء يزدادون أكثر فأكثر.

قاد مثل هذه الأعمال معهد الطاقة الشمسية لأكاديمية العلوم في جمهورية تركمانيا الاشتراكية السوفييتية، وهي طليعة المؤسسة العلمية الإنتاجية «سونتسه»[2]. وواضح تماما، لماذا وضعت هذه المؤسسة، وبهذا الاسم الذي كأنه قد اقتبس من صفحات رواية من الخيال العلمي في آسيا الوسطى بخاصة لأنه يقع على كيلو متر مربع في منتصف النهار الصيفي بمدينة «إشخاباد» سيل من الطاقة الشمسية، تبلغ استطاعته استطاعة

المحطة الكهرمائية على نهر الدنيبر!

توجهت جهود العلماء بالدرجة الأولى للحصول على الماء في الصحراء بمساعدة الطاقة الشمسية والماء في الصحراء موجود، فضلا عن أن اكتشافه ليس صعبا نسبيا أيضا: فهو غير عميق نوعا ما. إلا أنه غير صالح للشرب، ولا للسقاية؟ فقد انحل فيه عدد كبير جدا من الأملاح المختلفة. وإذا تمت تحليته، فيمكن اعتبار الواحة جاهزة، ويمكن العيش هنا، ورعي الغنم، وعلى مدار السنة أيضا، وفقا لحسابات العلماء، يجب أن يبنى في تركمانيا وحدها سبعة آلاف واحة من مثل هذه الواحات، ستعطيها الشمس كل الطاقة الضرورية لذلك.

إن مبدأ العمل لنظام التحلية الشمسي بسيط جدا فهو وعاء فيه ماء، مغلق بطبق شفاف. يسخن الماء بالأشعة الشمسية، ويتبخر قليلا، ويتكثف البخار على الطبق الشفاف الأكثر برودة، ويتم تجميعه في وعاء آخر.

إن تصميم مثل هذا الطراز معروف منذ زمن طويل إلى حد ما. ففي المناطق الجافة من التشيلي لم تعالج تقريبا المكامن الغنية جدا بنترات البوتاسيوم بسبب غياب مياه الشرب. وقد بني نظام التحلية الشمسي بمساحة 5000 $م^2$ في الوقت نفسه طعام 1872 ببلدة لاس سالیناس بمثل مبدأ العمل هذا، وأعطى 20 ألف لتر من المياه المحلاة خلال يوم مشمس.

إلا أن أعمال استعمال الطاقة الشمسية لم تنتشر على جبهة عريضة إلا في الوقت الحاضر فحسب. ففي مزرعة الدولة «باخاردن» في تركمانيا تعمل أنابيب مياه شمسية حقيقية هي الأولى في العمل، وهي تؤمن حاجة الناس من المياه المحلاة وتقدم الماء لسقاية الأراضي الجافة، وقد وسعت ملايين اللترات من المياه المحلاة بوساطة الطاقة الشمسية حدود المراعي في مزرعة الدولة كثيرا، إذ يأتي منها آلاف إضافية من جلود فرو الكاراكول[*1] المجيدة.

تستعمل حرارة الشمس أيضا في تصميم بيت شمسي لراعي الغنم، فتستخدم للتدفئة شتاء ولعمل المكيف صيفا. وتؤمن الشمس طاقة للثلاجة والتلفاز الموجودين في البيت، وسوف يوفر لقاطني هذا البيت الذي يبعد مئات الكيلو مترات عن أقرب مسكن، جميع مرافق «المدن».

(*1) فرو الكاراكول: هو فرو يؤخذ من صغار أغنام خاصة تربى في مناطق آسيا الوسطى.

وقد بني في قرية غونيب العليا في داغستان أول بيت شمسي، مدفأ ومسخن بالماء المحمّى بمجمع شمسي. وهذا البيت نموذج لبناء مقبل لقرى سكنية كاملة مدفأة بالشمس.

ليست بلادنا وحدها التي تهتم بمسألة استخدام الطاقة الشمسية. فقد اهتم بالطاقة الشمسية بالدرجة الأولى علماء البلدان الواقعة في المناطق الاستوائية. ففي الهند أعد برنامج عمل كامل لاستخدام الطاقة الشمسية. وفي مدارس تعمل أول محطة كهربائية شمسية في البلد. ويصنع العلماء الهنود في المخابر أجهزة شمسية لتحلية المياه، وآلات لتنشيف الحبوب ومضخات مائية. ويحضر في جامعة دلهي وحدة تبريد شمسية، قادرة على تبريد المواد الغذائية حتى 15 درجة مئوية تحت الصفر. وبنى طلاب المعهد التقني في رانغون ببورما المجاورة موقدا للطبخ تستعمل فيه حرارة الشمس لتحضير الطعام.

دخلت حيز العمل في مدينة أولغين بكوبا وحدة شمسية مبتكرة أعدها الاختصاصيون الكوبيون. وقد وضعت على سطح مستشفى للأطفال، ووفر لها الماء الساخن حتى في الأيام التي حجبت فيها الغيوم الشمس. وبرأي المختصين أن مثل هذه الوحدات التي ظهرت في مدن كوبية أخرى أيضا، ستوفر الكثير من الوقود.

في مدينة تيانسيزين بجمهورية الصين الشعبية أنجز بناء سكني بخمسة طوابق، مجهز بمسخنات ماء شمسية، مركبة على الشرفات، وعلى سطح كل شقة. وسيقدم كل مسخن 100 كيلو غرام من الماء المسخن حتى درجة 40 إلى 60 درجة مئوية يوميا.

وفي مسيلا، بمنطقة عين حناش بالريف الجزائري، بدء ببناء«القرية الشمسية». وسيحصل سكان القرية الكبيرة إلى حد ما على كل الطاقة من الشمس. وسوف يحتوي كل مسكن من هذه القرية على مجمع شمسي، يسمح باستعمال الطاقة الشمسية من أجل التدفئة وتحضير الطعام. ويجب على بعض المجموعات المنفصلة من المجمعات الشمسية أن تؤمن الطاقة للمشاريع الصناعية والزراعية. إن اختصاصيي هيئة الأبحاث الوطنية في الجزائر وجامعة هيئة الأمم المتحدة، مصممي القرية، مقتنعون بأن حساباتهم ستتحقق، وستصبح قرية عين حناش نموذجا أصليا لآلاف «القرى الشمسية»

المماثلة.

إن القرية الأسترالية وايت كليفس أيضا تدعي أنها أول قرية، تؤمن لنفسها الطاقة على حساب الشمس، وأصبحت مكانا لبناء المحطات الكهربائية الشمسية. وفي الحقيقة، استخدم هنا مبدأ خاص لاستعمال الطاقة الشمسية. إذ اقترح علماء الجامعة الوطنية في كانبيرا استعمال حرارة الشمس من أجل تفكيك غاز النشادر إلى هيدروجين وآزوت. وعندما يتركب غاز النشادر من جديد من هذين العنصرين، تنطلق حرارة، يمكن استخدامها من أجل عمل المحطة الكهربائية، كتلك الحرارة نفسها بالضبط التي يحصل عليها عند حرق وقود تقليدي. إن طريقة الحصول على الطاقة هذه جذابة، خاصة أنه يمكن للطاقة أن تخزن على نحو مفيد بشكل آزوت وهيدروجين لم يتفاعل بعد واستعمالها ليلا أو في الأيام الغائمة.

إن مثل هذه الطريقة «الكيميائية» للحصول على الطاقة الشمسية تثير الآن اهتماما أكبر من الباحثين. فما يغري فيها بالطبع هو إمكان استخدام طاقة الشمس من أجل إنشاء احتياطيات، وتخزينها، ككل وقود آخر. وقد أنشئت وحدة اختبارية، عاملة بمثل هذا المبدأ، في أحد المراكز العلمية في جمهورية ألمانيا الاتحادية. إن المركز الرئيسي لهذه الوحدة، هو مرآة على شكل قطع مكافئ قطرها متر، موجهة باستمرار إلى الشمس بمساعدة أنظمة ملاحقة معقدة. تخلق الأشعة الشمسية المركزة في بؤرة المرآة درجة حرارة تبلغ 800 - 1000 درجة مئوية. وتستعمل هذه الحرارة الهائلة من أجل تفكيك الأنهيدريد الكبريتي إلى أنهيدريد كبريتوزي وأكسجين. ثم يرسل هذان العنصران إلى أوعية استرجاعية، حيث يتكون منهما بوجود مادة محفزة أنهدريد كبريتي أصلي، عند ذلك ترتفع درجة الحرارة إلى 500 درجة مئوية. وهذه الحرارة تحول الماء إلى بخار، يدور عنفة مولد الكهرباء. وفي عملية مشابهة يمكن استخدام لا أنهيدريد كبريتي فحسب، بل غاز الميثان أو غاز النشادر أيضا، كما في مشروع العلماء الأوستراليين.

ثمة طريقة أخرى لاستخدام الطاقة الشمسية، أكثر إغراء وهو تحويلها إلى طاقة كهربائية على نحو مباشر.

فقد اكتشف هنري هرتز الفعل الكهرضوئي - وهو نشوء التيار الكهربائي بتأثير الضوء - منذ عام 1876. وأجرى ألكسندر غريغوريفتش ستوليتوف

بعد ذلك بسنتين أبحاثا نموذجية لقوانين هذه الظاهرة. وأوجد ألبرت إنشتاين في بداية القرن العشرين نظرية الفعل الكهرضوئي، ووضع في أيدي الباحثين، كما يبدو، جميع الوسائل لتملك هذا المنبع من الطاقة.

وبدلا من الأجهزة الأولى غير المتقنة والمعتمدة على السيلينيوم، جاءت في البداية، خلايا الثاليوم الكهرضوئية، وبعد ذلك الخلايا الكهرضوئية السيليكونية.

في عام 1953 أنشئت البطارية الشمسية الأولى. ووضعت لها فورا مهمة ضرورية جدا، لكن ليس على الأرض، بل في الفضاء، إن القمر الصناعي السوفييتي الثالث، الذي وضع على المدار في 15 مايو عام 1958، قد جهز ببطارية شمسية. أما الآن فقد أصبحت اللوحات التي توضع عليها منابع للطاقة هذه جزءا لا يتجزأ من تصميم كل جهاز فضائي. وهذه البطاريات الشمسية تؤمن الطاقة لسنين عديدة في المحطات الفضائية السوفييتية ساليوت لضمان حياة الفضائيين، وللعديد من الأجهزة العلمية المنصوبة على المحطة أيضا.

إن هذه الطريقة في الحصول على الطاقة بكميات كبيرة على الأرض، مع الأسف، مازالت بعيدة عن إمكان الاستخدام كما يبدو. وقد سبق أن ذكرنا سبب ذلك وهو الكثافة المنخفضة لتدفق الطاقة الشمسية. فلكي نحصل على كمية أكبر من الطاقة، يجب أن تشغل البطارية الشمسية مساحة ضخمة تبلغ آلاف الكيلو مترات المربعة. ويستحيل اليوم عمليا صنع مثل هذه الكمية من الخلايا الشمسية. إذ يستخدم في صناعتها مواد غالية جدا وفائقة النقاوة، وعمليات تكنولوجية معقدة جدا. ومازالت الأسباب الاقتصادية لا تسمح بالاعتماد على هذه الطريقة في الحصول على كميات مهمة من الطاقة. غير أن الحصول على الطاقة من البطاريات الشمسية قد أصبح له معنى في أيامنا، في تلك الأماكن التي لا يوجد فيها منابع أخرى للطاقة.

تُنشأ في المطار الدولي لمدينة فينكس في ولاية أريزونا الأمريكية محطة كهربائية شمسية باستطاعة نحو 300 كيلووات. إن الطاقة الشمسية ستتحول إلى طاقة كهربائية بمساعدة 7200 خلية سيليكونية. وفي تلك الولاية نفسها يعمل أحد أضخم نظم الري في العالم، بمضخاته العاملة على الطاقة

الشمسية، التي تتحول إلى طاقة كهربائية بوساطة البطاريات الشمسية. وتعمل «المضخات الشمسية» أيضا في نيجيريا ومالي وفولتا العليا والسنغال. وتغذي البطاريات الشمسية الضخمة بالطاقة الكهربائية محركات المضخات، التي ترفع المياه العذبة، الضرورية للغاية في هذه المناطق الصحراوية، من البحر الجوفي الواسع المخفي تحت رمال الصحراء.

في العديد من تصاميم البيوت الشمسية ذات المجمعات الشمسية، التي تستعمل حرارة الشمس، يجب أن تعمل البطاريات الشمسية أيضا، التي تؤمن حاجة القاطنين المقبلين من الطاقة الكهربائية. وقد بدأ العلماء العراقيون باستثمار تجريبي لبيت سكن من طابق واحد، مائل السقف قليلا، أقيم عليه 138 بطارية شمسية. إن الطاقة الكهربائية التي تولدها البطاريات، ينبغي أن تكفي لتدفئة البيت شتاء ولعمل المكيف صيفا، ومن أجل إنارة الغرف وعمل الأجهزة الكهربائية المنزلية.

وفي البرازيل تبنى مدينة كاملة «نظيفة بيئيا» ستوفر كل احتياجاتها من الطاقة على حساب المنابع المتجددة. وسيوضح مكان الأسقف في بيوت هذه المدينة غير العادية مسخنات ماء شمسية. وستشغل أربع محركات هوائية مولدات استطاعة كل منها 20 كيلو وات. وستصل الطاقة الكهربائية في الأيام العديمة الريح من بناء في مركز المدينة، صنعت جدرانه وسقفه من بطاريات شمسية. وإذا لم يكن هنالك ريح ولا شمس فستأتي الطاقة من مولدات عادية بمحركات احتراق داخلي، لكنها خاصة لأنها تعمل على الكحول المستخرج من القصب، وبهذه الطريقة لن يتلوث الهواء بالبنزين المحترق.

بطل فكاهة قديمة - هو بائع مياه غازية سيئ الحظ-أفلس بوضع دكانه في صحراء. إذ اعتقد عابرو السبيل الذين أضناهم العطش أن ذلك سراب. أما الآن فليس ذلك سرابا، بل هاتف آلي ببطارية شمسية يمكن أن نجده في مركز الصحراء! وسيكون الرحالون، بمساعدة مثل تلك الهواتف، التي أعدها مختصون ألمان غربيون، قادرين على اللجوء إلى أقرب قرية عند الحاجة إليها لمساعدتهم.

إن الطاقة المتولدة من البطاريات الشمسية ستستخدم حتى في الليل في المنارة المنصوبة في مدينة هوبارت الواقعة بالقرب من عاصمة جزيرة

تاسماني. إن طاقة الأشعة الشمسية المحولة إلى طاقة كهربائية تشحن مدخرة دارة الإنارة، بضوئها الذي يرى من مسافة 18 كيلو متراً.

وردت من المتحمسين لعلم الطاقة الشمسية مقترحات كثيرة لتصاميم غريبة لوسائل النقل، تستغني عن الوقود التقليدي. وأعد المصممون المكسيكيون سيارة كهربائية، يحصل محركها على طاقة من بطاريات شمسية. ووفقا لحساباتهم ستبلغ سرعة السيارة الكهربائية، بعد أن تسير مسافة قصيرة، 40 كيلو مترا في الساعة.

صمم الأميركي ل. ماورو طائرة وبناها. وقد وضع فوق جناحيها بطارية مؤلفة من 500 خلية شمسية. إن الطاقة الكهربائية المولدة من هذه البطارية ستدوّر محركا باستطاعة ثلاثة أحصنة أمكن بمساعدته إنجاز طيران قصير. وبنى أمريكي آخر - د. ديونان - «دراجة نارية شمسية»، بلغت سرعتها 50 كيلو مترا في الساعة. وتوجد تصاميم لمناطيد شمسية.

إن التحليل السريع للطرق المقترحة لاستخدام طاقة الشمس، يبين أنه مازال صعبا حتى الآن الاعتماد على المساهمة الملموسة للطاقة الشمسية في رصيد الطاقة للإنسانية. بيد أن علماء أكثر فأكثر ينضمون إلى الأعمال التي تهدف إلى امتلاك هذا المنبع الذي لا ينضب للطاقة، ذي الأهمية العظيمة لكونه نظيفا بيئيا، وغير ملوث للوسط المحيط.

العودة إلى الأشرعة والطواحين؟

تدفئ الشمس بدرجات متفاوتة مختلف أصقاع الأرض - الجبال والوديان، البرور والمحيطات - والمحيط الجوي الذي نعيش في قعره مضطرب على الدوام. تهب الرياح باستمرار في كل مكان - من النسيم العليل الحامل للبرودة المرغوبة في قيظ الصيف، إلى العواصف الجبارة المرعبة الهوجاء.

إن طاقة كتلة الهواء المتحركة عظيمة، وقد جذبت الناس فكرة استخدامها منذ زمن بعيد. فضلا عن أنهم تعلموا أيضا استخدام هذه الطاقة منذ آلاف السنين قبل الميلاد. وقد تحدثنا عن أن طاقة الريح ساعدت البحارة في التغلب على رحابة المحيطات، وعلى خدمة الطواحين الهوائية بوصفها منبعا وحيدا للطاقة في مناطق استيطان الناس حيث لا يوجد أنهار أو بحار. بيد أنه لم ينته الاهتمام الآن أيضا باستخدام طاقة الريح بوصفه

منبعا لا ينضب، وفوق ذلك فتقنية القرن العشرين فتحت من أجل ذلك إمكانات جديدة تماما.

إن الطواحين الهوائية الحديثة لا تشبه مطلقا تلك التي قاتلها الداهية إدالكو دون كيشوت ديلامانشا. فهي منشآت ضخمة بارتفاع بناء ذي عدة طوابق (لأنه كلما كانت أعلى، كانت الريح أقوى)، وبشفرات ضخمة. وبالإضافة إلى ذلك فلا يجوز تسميتها بالطواحين، فهي لا تطحن شيئا وهي مخصصة لإنتاج الطاقة فقط. في أعوام 1941 - 1945 عملت في الولاية الأمريكية فيرمونت أقوى وحدة توليد تعمل بطاقة الريح في ذلك الوقت باستطاعة 1250 كيلو وات. كانت شفراتها الضخمة ذات الأطنان الثمانية باتساع أكثر من 50 مترا.

ولم يكن حتى إدالكو الجريء ليجازف بخوض معركة مع هذا العملاق، إلا أن نقطة ضعف هذه الوحدة تكمن في حجمها، فعندما تتكسر إحدى شفراتها، يبدو تصليحها غير اقتصادي.

إن تصاميم طواحين الهواء الحديثة مدهشة بتنوعها! فقد أعد بيتر ماغريف في إنجلترا تصميما لوحدة توليد تعمل بطاقة الريح باستطاعة ثلاثة آلاف كيلو وات بشفرتين مثبتتين على محور أفقي. وقد صممت شركة بناء الطائرات المعروفة «مكدونال - دوغلاس» وحدة من مثل هذا الطراز، لكنها بثلاث شفرات. أما الشركة الألمانية الغربية (لبناء الطائرات أيضا) «ميسير شميت - بيولكوف - بلوم»فقد وضعت تصميم دولاب هوائي بشفرة واحدة طولها 74 مترا منصوبة على برج ارتفاعه 120 مترا. يجب أن تبلغ استطاعة هذا العملاق 5 آلاف كيلو وات. وتصادف أيضا تصاميم يجب على الريح فيها أن تدوّر جهازا يذكر بدولاب دراجة ضخمة، وقد ثبتت في مكان البرامق شغرات. ويصمم مثل هذا التصميم في جامعة أوكلاهوما بالولايات المتحدة الأمريكية.

يقترح المتحمسون لطاقة الرياح بناء مجموعة شبيهة بوحدات المكنات الهوائية هذه في أكثر الأماكن ريحا على الأرض، وجمعها معا، ثم نقل الطاقة المولدة منها إلى الشبكة الكهربائية العامة. ويقترح المختصون الدنمركيون وضع المحطات الكهربائية الهوائية في ترتيب معين في البحر، حيث قوة الريح دوما أكبر منها على البر. وقد حسبوا أن مجموعة من

مائتي وحدة مكنات هوائية بحرية ستنتج في سنة طاقة بمقدار ما يحتويه نصف مليون طن من الفحم. إن إدخال محطتين كهاتين في دولاب الأعمى سيؤمن عشر الطاقة الكهربائية المستهلكة في الدنمارك كلها.

اقترح المخترعان السوفييتيان فتشنكين وأوفميتسيف منذ ما قبل الحرب تصميم «سد لقوة الريح». ووفقا لخطتهما، كان على هيكل معدني بارتفاع 350 مترا وعرض 500 متر أن يثبت مائتين وأربعة وعشرين محركا هوائيا بدواليب قطرها 20 مترا. وكان ينبغي على مثل هذا «السد» أن يؤمن استطاعة نحو 100 ألف كيلو وات. وفي مشروع جريء آخر اقترح استخدام طاقة التيارات الجوية على ارتفاع 8 - 10 كم.، حيث توجد تيارات هوائية مستمرة بسرعة 20 - 30 مترا في الثانية. وحسب خطة مؤلفي التصميم يجب أن تبلغ المحركات الهوائية والمولدات منطقة هذه التيارات بمساعدة منطاد، مربوط إلى الأرض بأسلاك تنقل الطاقة من السماء إلى المستهلكين.

إن هذه التصاميم مهيأة للمستقبل البعيد، وعدا ذلك فمن المشكوك فيه أن يصبح يوما ما رصيد الطاقة المنتجة بوساطة الريح له وزنه في الإنتاج العام للطاقة الصناعية، إلى درجة كافية. إن المحركات الهوائية اليوم يمكن أن تجد استخداما لها في الأماكن التي يحتاج فيها إلى طاقة قليلة، ولا يوجد منابع أخرى لها.

أعدت في الاتحاد السوفييتي سلسلة من الوحدات الهوائية«تسيكلون». يستعملها بنجاح صيادو الأسماك والجيولوجيون والصيادون ومربو المواشي، وتؤمن لمنتجعهم المؤقتة الكمية الكافية من الطاقة. وفي اليابان، حيث تعيش وفقا للتقاليد أغلبية السكان في بيوت منفصلة صغيرة، انتشرت الطواحين الهوائية الصغيرة، مقدمة الطاقة لعائلة واحدة. وفي أوروبا الغربية تابع مجموعة من أجل تصنيع ذاتي لطاحونة هوائية باستطاعة 5,1 كيلووات مخصصة للمزارعين والمصطافين.

إن تقلب الريح الذي يخلق مشاكل إضافية دخل في الأمثال. والتخلص من أهواء الريح يعني تسهيل استعمالها كثيرا. وتظهر مشاريع مثيرة للفضول، من أجل حل مسألة ادخار طاقة الريح أيضا.

ففي البلدة الدنمركية تفيند، اقترح طلاب كلية البلدة وأساتذتها، المتحمسون كثيرا لعلم الطاقة الهوائية، استعمال المحركات الهوائية لا لأجل

إنتاج الطاقة الكهربائية المباشر، بل لإنشاء احتياطيات من الهواء المضغوط. وقد ثبت في تصميم على محور واحد ذي مروحة هوائية متعددة الشفرات لا مولد كهربائي، بل ضاغط يضغط الهواء في خزان خاص. بعد ذلك يصل الهواء المضغوط إلى العنفة المدورة للمولد الكهربائي على قدر الحاجة بضغط ثابت. ويمكن لهذه الطريقة أن تعطي نتائج لا بأس بها في الظروف التي لا تكون فيها الحاجة إلى الطاقة الكهربائية كبيرة.

ويتوقع طريق آخر لادخار الطاقة إذا دخلت وحدات مكنات هوائية، قوية في دولاب العمل. وفي هذه الحالة ستدوّر المحركات الهوائية المولد، وتستخدم الطاقة المنتجة لتحليل الماء تحليلا كهربائيا. إن الهيدروجين الناتج عندئذ (وهو وقود المستقبل برأي علماء كثيرين) يمكن استخدامه في كل وقت.

بني في إسبانيا وحدة توليد فريدة للطاقة يجري فيها تعايش مدهش بين محطة كهربائية شمسية وأخرى هوائية. ففيها تحدث الشمس إعصارا اصطناعيا صغيرا يدوّر العنفة. مبدأ هذه الوحدة-كنّ دائري كبير قطره 250 مترا، مغطى بطبقة بلاستيكية رقيقة خاصة. يرتفع من منتصف الكن أنبوب طوله مئتا متر، وضع على ارتفاع 10 أمتار، فيه مولد كهربائي ذو عنفة هوائية. عندما تسخن الشمس الهواء في الكن، ينشأ تيار هوائي، ويتشكل في الأنبوب إعصار مصغر يدور العنفة، يسخن الأساس تحت الطبقة الرقيقة في الأيام المشمسة بشدة، ويكفي احتياطي الحرارة لكيلا يقف تيار الهواء حتى في الأيام الغائمة. بلغت استطاعة أول محطة كهربائية كهذه، دخلت دولاب العمل عام 1981، نحو مائة كيلو وات لا أكثر، بيد أن الاختصاصيين قد باشروا بتصميم وحدات أقوى بكثير من مثل هذا الطراز.

غرفة مرجل تحت الأقدام

لاحظ الناس منذ القدم الظهور العفوي للطاقة العملاقة، الذائبة في باطن الكرة الأرضية. وتحفظ ذاكرة الإنسانية قصصا عن ثوران البراكين المدمر، الذي غير مظهر العديد من المناطق على الأرض تغييرا كليا. حتى إن استطاعة بركان غير كبير نسبيا عظيمة، فهي تفوق بمرات كثيرة استطاعة أضخم وحدات توليد الطاقة المنشأة بأيدي الإنسان. وفي الحقيقة، لا

حاجة للحديث عن استخدام طاقة ثوران البراكين، فليس لدى الإنسانية بعد إمكانات لجم هذه الطارئة الطبيعية المتمردة. لكن الثوران هو ظهور للطاقة، الذائبة في بواطن الأرض، ومن هذه البواطن يجد قسم ضئيل فقط من هذه الطاقة مخرجا عبر فوهات البراكين النافثة للنيران.

لقد جذبت اهتمام العلماء منذ القدم الآفاق الرحبة المغرية لاستخدام طاقة الأرض. ولم يتمكن الناس بعد من النفاذ إلى جوف الأرض بصورة كافية مع الأسف، لكي يدرسوا العمليات الجارية في أعماقها دراسة تفصيلية. ومن المعروف أنه تقع في مركز الأرض نواة منصهرة، درجة حرارتها تبلغ عدة آلاف من الدرجات. إن التدفق الحراري القادم من نواة الأرض إلى سطحها، يسخن الأرض تماما. إن الموصلية الحرارية السيئة للصخور، المكونة لقشرة الأرض هي وحدها التي توفر درجة حرارة لسطح الأرض مقبولة للإنسان. وكلما تعمقنا في الأرض ارتفعت درجة الحرارة باطراد. وفي أغلب أصقاع الأرض، تبلغ الدرجة الحرارية الأرضية - وهي العمق الذي ترتفع عنده درجة الحرارة درجة مئوية واحدة - نحو 30 مترا. إلا أنه توجد بعض المناطق تبلغ فيها هذه الدرجة 2 - 3 أمتار فقط، وأحيانا نصف متر. وقد انتقى الخبراء في استعمال طاقة حرارة الأرض هذه المناطق بالضبط من أجل أبحاثهم.

لنلتفت إلى الوقائع. إن إيسلنده البلد الأوروبي الصغير- وبالترجمة الحرفية «بلد الجليد» - تؤمن لنفسها بصورة كاملة الطماطم والتفاح وهي الوحيدة بين البلدان الأوروبية التي تؤمن الموز! إن العديد من الأكنان في إيسلنده يستمد الطاقة من حرارة الأرض، فلا يوجد عمليا في إيسلنده منابع أخرى «محلية» للطاقة.

تقع هذه الجزيرة الشمالية في منطقة نشاطات بركانية شديدة. وإيسلنده غنية جدا بالينابيع المعدنية الحارة وبفوّارات الماء الحار الشهيرة. مع أن الأيسلنديين ليسوا أولا من استخدم حرارة الينابيع الجوفية (فقد أوصل الرومان القدماء الماء من تحت الأرض إلى حمامات ترمي كراكلا الشهيرة)، فسكان هذا البلد الشمالي يستثمرون «غرفة المرجل الجوفية» بكثرة. وتدفأ العاصمة ركيافيك، التي يعيش فيها نصف سكان البلد، بفضل الينابيع الجوفية فقط. وبهذه الطريقة نفسها تدفأ المدن والقرى الأخرى أيضا.

عثر الجيولوجيون في داغستان على بحيرة ضخمة بمساحة تبلغ أكثر من 400 كم^2 مملوءة بالماء الحار، على عمق بسيط تحت الأرض. ستدفأ الأكنان والمساكن بحرارة الماء الحار.

وأجريت في جارتها تشيتشينو - إنغوشيا تجربة فريدة. حقيقة الأمر هي أن الينابيع الجوفية، التي غذّت الأكنان بالمياه الحارة لسنين عديدة، أخذت تنضب. كان المخرج الوحيد، هو محاولة استعمال حرارة باطن الأرض بدورة مغلقة، تتم بعودة المياه الباردة التي انتهى العمل بها إلى الأرض. استمرت التجربة خمسة أشهر، حتى بدأ الضغط على مخرج البئر يزداد من جديد. وأنجزت التجربة بانتصار كامل للعلماء - ويعمل الآن نظام الدوران تحت الأرضي بلا تعطل.

بيد أن الإنسان يستمد الطاقة من عمق الأرض ليس للتدفئة فقط. فمنذ زمن بعيد تبنى المحطات الكهربائية التي تستخدم هذه الطاقة. فقد بنيت أول محطة كهربائية كهذه، لكنها قليلة الاستطاعة تماما، عام 1904 في المدينة الإيطالية الصغيرة لاردريلي، التي سميت بهذا الاسم تكريما للمهندس الفرنسي ف. لاردريلي، الذي وضع عام 1827 مشروع استخدام الينابيع المعدنية الحارة العديدة في هذه المنطقة. وشيئا فشيئا نمت استطاعة المحطات الكهربائية، ودخلت في دولاب العمل وحدات ماكينات جديدة، وقد بلغت في أيامنا استطاعة كل المحطات الكهربائية التي تستعمل البخار القادم من تحت الأرض، في منطقة لاردريلو أرقاما مؤثرة: 360 ألف كيلووات.

إن المحطات الكهربائية العاملة على حرارة الأرض، والتي تستخدم باطن الأرض مرجلا، تستخدم في مختلف البلدان، وعمليا حيثما يوجد هذا البخار. ففي منطقة وايرايكه بنيوزيلندة، وجدت عام 1959 محطة كهذه بلغت استطاعتها 160 ألف كيلووات. وفي الولايات المتحدة الأمريكية وعلى بعد 120 كم من سان فرانسيسكو تنتج الطاقة الكهربائية محطة كهربائية على حرارة الأرض استطاعتها 500 ألف كيلووات.

وفي كامشاتكا تعمل منذ عام 1966 محطة كهربائية على نهر باوجيتك. وستبلغ استطاعتها قريبا 30 ألف كيلووات. وبالقرب منها على نهر باراتونك تعمل محطة كهربائية عاملة على حرارة الأرض باستطاعة أكبر. وتستعمل هذه المحطات الكهربائية البخار القادم تحت ضغط عظيم من ينابيع عميقة

جدا. ويمكن أن تبلغ درجة حرارة الماء المحمي تحت الضغط الجبار للصخور الجبلية، من 400 - 500 درجة مئوية. لكن مثل هذه الينابيع قليل جدا، فهي معدودة. وعلى الأرض من الينابيع الجوفية الأقل حرارة بكثير عدد أكبر بكثير. ولم يهملها العلماء أيضا في بحثهم عن الطاقة، مع أن تجارب استخدام المياه الجوفية المنخفضة الحرارة لم تخرج من المرحلة الابتدائية بعد.

في عام 1974 أنشأت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية ميدان تجارب على ضفة نهر ريفت - ريفر، في منطقة صحراوية لولاية إيداهو، حاول فيه العلماء والمهندسون بناء محطة كهربائية تستخدم مياه الينابيع الحارة الأرضية بدرجة حرارة لا تزيد على 65 - 150 درجة مئوية. وقد استخدم ما يسمى بالمخطط ذي المرحلتين في النموذج التجريبي لمولد كهربائي استطاعته 5 آلاف كيلووات. تسخن المياه القادمة من تحت الأرض الإيسوبيوتان المحصور بنظام مغلق. وعندما يسخن سائل الإيسوبيوتان ذي درجة الغليان المنخفضة، يتبخر، وتصل أبخرته بضغط إلى العنفة، التي تدوّر المولد. إلا أن بناء محطات صناعية من طراز مماثل مازالت بعيدا.

إن الينابيع الحارة الجوفية لا توجد في كل مكان. أما بواطن الأرض المحماة حتى درجة حرارة عالية فهي موجودة في كل مكان. وثمة مشاريع لإنشاء ينابيع حارة اصطناعية في الأماكن المطلوبة. ومن أجل ذلك اقترح حفر بئرين بعمق يكوّن درجة حرارة للصخور المحيطة يبلغ 300 - 400 درجة مئوية. وسيضخ الماء في إحدى البئرين ويحصل على البخار من البئر الثانية.

ثمة عقبة واضحة عند تحقيق مثل هذا المشروع؟ فالموصلية الحرارية المنخفضة للصخور الجبلية لا تهيئ إمكان انتزاع كثير من الحرارة من جدران البئر. ولذلك يقترح إجراء تفجير في أساس البئر (يحتمل أن يكون حتى تفجيرا نوويا!) يسبب شقوقا وأجوافا عديدة. ويمكن أن «يسحب» من الكهف الاصطناعي المتشعب السطح طاقة حرارية أكثر بكثير. ويفكر العلماء من أجل التجارب الأولى أن يثقبوا الأرض في تلك الأماكن، حيث قشرة الأرض أشد سخونة، أي بالقرب من البراكين.

وحفرت أولى الآبار كهذه. وتقع بالقرب من بركان كيلاوي في جزر هاواي. يصل إلى السطح بخار مسخن لأكثر من 350 درجة مئوية. وباستعمال الينابيع الحارة الاصطناعية في هاواي يفترض بناء مجمع لتوليد الطاقة

يعمل على حرارة الأرض باستطاعة 500 ألف كيلو وات. واختار المختصون الإيطاليون حفر آبار على سطح شمال شرقي فيزوفيا. إن البركان الذي دفن في غابر الزمان غيركولانوم. وبومبيو، وستابيو، سيجلب الآن نفعا.

وتوجد مشاريع أكثر جرأة أيضا، وهي الوصول إلى الماغما المحماة حتى آلاف الدرجات الحرارية، التي تسبح فيها القشرة الأرضية. وسيتحول الماء، الموجه في البئر الواصل إلى الماغما، إلى بخار يستطيع أن يدوّر عنفة باستطاعة هائلة. إن تحقيق هذا المشروع هو عمل المستقبل البعيد تماما، إذ تنتظر العلماء الذين يطمحون للوصول إلى مسكن بلوتون[3]، صعوبات كثيرة للغاية.

تشغل المشكلات البيئية مكانا ليس أخيرا في اللائحة الواسعة للمشاكل، التي سيضطر علماء الطاقة الأرضية إلى حلها. فالمياه الجوفية تقذف إلى سطح الأرض لا الحرارة فحسب، بل مواد ضارة مختلفة منحلة فيها أيضا. ويمكن لهذه المواد أن تخرب المضخات والعنفات والأنابيب، وأن تلوث الهواء والماء بالقرب من المحطات العاملة على حرارة الأرض. وبالتالي تظهر مشكلة جديدة، هي مشكلة تنظيف المياه الجوفية.

الدولاب المائي لا يهرم

خدم الدولاب المائي الناس آلاف السنين بإخلاص. وتحولت الطواحين المائية الصغيرة، التي ظهرت حتى في زمن الحضارة اليونانية والرومانية القديمة، مع مرور القرون إلى منشآت ضخمة، تغذي المدن الكبرى بالماء، وتحرك الماكينات في المعامل والمصانع، وتساعد الإنسان في كثير من الأعمال الصعبة.

«مطيعة للموجة، تخبط شفرات
العملاق الواقف على الشاطئ
وببطء تدور الدواليب الثقيلة
في وئام أحدها مع الآخر».

بهذه الأسطر المهيبة يصف الشاعر الإيطالي بارتولوميو دوتي في منتصف القرن السابع عشر، انطباعه عن زيارة طاحونة مائية كبيرة.

إن اختراع الآلة البخارية بدا وكأنه أوقف موكب النصر القديم للدواليب

المائية. ومضت العمالقة الخشبية والمعدنية إلى الهرم، وحلت محلها آلات بخارية متراصة. إلا أن الدواليب المائية لم تبق في الظل على ما يبدو إلا لفترة قصيرة، ثم سرعان ما عادت إلى الطاقة، ولو في مظهر آخر، في هيئة عنفة مائية.

إن انبعاث الدولاب المائي قد تم في العصر الذهبي للهندسة الكهربائية. وكان من الضروري تدوير المولدات الكهربائية، المنتجة للطاقة، وتكفل الماء بهذا العمل في معظم الحالات. ويمكن اعتبار سنة ولادة موضوع الطاقة المائية الحديثة عام 1891، عندما بنى المهندس الروسي ميخائيل أوسيبوفتش دوليفو-دبروفولسكي، المهاجر إلى ألمانيا بسبب «عدم الأمانة السياسية»، أول محطة كهر مائية. قبل افتتاح معرض الهندسة الكهربائية في فرانكفورت على الماين، حيث وجب على المخترع أن يعرض محرك التيار المتناوب الذي اخترعه، في البلدة الصغيرة لاوفين نصب مولدا ثلاثي الأطوار، دورته عنفة مائية صغيرة. ونقلت الطاقة الكهربائية على مساحة المعرض بخطوط نقل ممتدة امتدادا خياليا آنذاك بطول 175 كم. وكان هذا المولد البكر للطاقة المائية الذي تقل استطاعته عن 100 كيلوواط، «لب» المعرض، ورأى فيه كثير من المختصين نموذجا أصليا للمحطات الكهربائية العملاقة العتيدة.

بيد أن عصر علم الطاقة آنذاك لم يحن أوانه بعد. إن مزايا المحطات الكهربائية واضحة، فهي احتياطي الطاقة المتجدد باستمرار من الطبيعة نفسها، وهي سهلة الاستثمار، ولا تلوث البيئة المحيطة. غير أن بناء سد لمحطة كهر مائية ذات قدرة عالية يتطلب كثيرا من العمل، فيلزم وضع كمية هائلة من المواد في جسمه، تفوق بمرات عديدة حجم الأهرام المصرية العملاقة. ولذلك فلم يبن في بداية القرن العشرين إلا عدة محطات كهر مائية فقط، في الولايات المتحدة الأمريكية، وسويسرا، والسويد. وفي روسيا عملت بنجاح، بالقرب من بياتيغورسك، على نهر بود كوموك محطة كهربائية ضخمة إلى حد ما باسم ذي مغزى «الفحم الأبيض». وكانت هذه المحطة مجرد بداية.

ولكن حتى الآن لا يخدم الناس إلا جزء بسيط من مقدرة الماء في توليد الطاقة على الأرض. ففي كل سنة تتدفق إلى البحار دون فائدة سيول هائلة من الماء، المتشكل من ذوبان الثلوج والهاطل على شكل أمطار. فلو استطعنا

بوساطة السدود، لحصلت الإنسانية على كميات هائلة إضافية من الطاقة.

ظهرت مؤخرا عند بناة المحطات الكهرمائية إمكانات جديدة. فالنجاحات التي أحرزت في طرائق التصميم، وإعداد مواد بناء جديدة، والتعمق في فهم العمليات الجارية أثناء استثمار السد - وهو المنشأة الأساسية للمحطة الكهرمائية - مكنت من البدء في بناء أعظم منشآت هذا القرن، وهي السدود الشاهقة، التي أتاحت استخدام طاقة السيول المائية التي لم تستخدم من قبل. وبني في سويسرا عام 1961 أول سد شاهق كهذا لأجل المحطة الكهرمائية غراند دسكنز. زاد ارتفاعه على ارتفاع بناء من تسعين طابقا.

وبني على نهر الوحش في تاجيكستان سد هائل لمحطة نورينسك الكهرمائية، بلغ ارتفاعه 320 مترا. ويبلغ ارتفاع سدي محطتي رونغونسك وإينغورسك أكثر من 300 متر.

ومع ذلك لن تتمكن طاقة الأنهار على ما يبدو حتى أن تصبح أساسا للطاقة في المستقبل. فالاختصاصيون يرون أنه بعد مائة سنة ونيف سوف تستخدم عمليا جميع الموارد المائية في مختلف البلدان المتقدمة. وحتى في ذلك الوقت لتعطي المحطات الكهرمائية أكثر من خمس الطاقة التي تستهلكها الإنسانية.

ويستقصي العلماء منذ فترة طويلة البحث عن منابع جديدة، مصادر ذائبة في مياه المحيط العالمي، ويبحثون عن طرق استعمال الأشكال المتنوعة للطاقة، المكدسة في البحار والمحيطات.

إن المحيط العالمي يشغل ثلثي سطح الأرض. وهذه الكتلة الجبارة من الماء كلها في حركة مستمرة، ولا تكف الأمواج لحظة واحدة عن عدوها الدائم. إن موجة المد، التي تولدها جاذبية القمر، تتدحرج بدقة الكرونومتر(4) يوميا على شواطئ المحيطات. والطاقة التي تحملها معها هذه الموجة جبارة. وموجة مد المحيط الهندي تتدحرج إلى 250 كيلو مترا بعكس جريان الغانج، وأما موجة المحيط الأطلسي فتنتشر في الأمازون القوي إلى مسافة 900 كيلومتر! ويبلغ ارتفاع موجة المد في بعض الأماكن 18 - 20 مترا، إن إهمال مثل هذا المنبع للطاقة هو أمر غير معقول.

إن الكثير من العلماء والمهندسين يبحثون عن طرق استخدام لطاقة

المد. وإن أول محطة كهربائية صغيرة تعمل على طاقة المد بنيت قرب ليفربول بإنجلترا عام 1913 باستطاعة 635 كيلو وات فقط. وقد حاول الأمريكيون بعد 20 سنة بناء محطة باستطاعة أكبر. فقد بدئ في خليج باسافكفود على الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية، ببناء سد، وصرف كثير من الأموال، لكن البناء توقف بعد ذلك. فقد تبين أن الحصول على الطاقة من المحطة الكهربائية الحرارية القريبة أكبر ربحا. وأعد علماء الطاقة الأرجنتينيون مشروع سد في مضيق ماجلان، ولكن حكومة البلد لم توافق على تحقيق مشروع بمثل هذه الكلفة الباهظة.

ولم تعمل أول محطة كهربائية ضخمة على طاقة المد إلا عام 1967. ففي مصب النهر الفرنسي رانس، قرب العاصمة السابقة للقراصنة، مدينة سين مالو، قامت 24 عنفة استطاعة كل منها 10 آلاف كيلووات بتوليد التيار. وقد عملت هذه المحطة دون توقف خمس عشرة سنة، وكانت ميدان تجارب رائعة.

وطبقت تجربة بنائها واستثمارها في مشروع محطة كهربائية جديدة من ذلك الطراز نفسه، إلا أنها ذات استطاعة أكبر بعشرات المرات. وسوف تقع هذه المحطة، التي سيبنى لها سد طوله أكثر من 75 كم، على بعد 60 كيلومترا عن أمها الأصلية.

وفي عام 1968 أنتجت المحطة الكهربائية السوفييتية العاملة على طاقة المد في خليج كيسلاياغوبا بالقرب من مورمانسك، على الشاطئ الشمالي لشبه جزيرة كولا أول تيار لها. إن الاختصاصيين يسمون هذه المحطة ذات الاستطاعة الصغيرة - 400 كيلو وات فقط - «المحطة الصغيرة المولدة لآمال كبيرة». وقد أصبحت نموذجا أصليا للمحطات الكهربائية المصممة في بلادنا والعاملة على طاقة المد.

الخاصة الرئيسية للمحطة تكمن في طريقة بنائها. وبنى الفرنسيون محطتهم في ذلك المكان الذي تعمل فيه، ولكن تبين أن هذا عمل غال ومعقد جدا - فقد اضطروا إلى إبعاد السد عن المحيط الجبار، وتجفيف حفرة قاعدة المبنى. أما المحطة السوفييتية في خليج كيسلاياغوبا فقد بنيت على الشاطئ، في رأس حوض سفن البريتيك قرب مورمانسك. وبعد أن جهزت قُطرت إلى مكان عملها الدائم. وقد رخص ذلك كلفة الأعمال

لدرجة أن سعر الكيلو وات الواحد من الاستطاعة (إحدى أهم خصائص كل منبع للطاقة!) زاد قليلا جدا على ثمن الكيلو وات من الاستطاعة المنتج بالطرق المألوفة.

وقد أكد كثير من الاختصاصيين، عند ظهور أول تصاميم المحطات الكهربائية العاملة على طاقة المد، أن منشآتهم هي ببساطة خيال باهظ الكلفة. إلا أن تجربة استثمار المحطات الأولى قد أظهرت بوضوح أن طاقة المد أمر واقعي تماما. وحسب بعض التقديرات المتفائلة للمختصين أن المحطات الكهربائية التي تستعمل طاقة المد، سرعان ما ستعطي الإنسانية عشر الطاقة التي تحتاج إليها.

وقد فكر الاختصاصيون أيضا بمشكلة استثمار طاقة الأمواج، التي تولدها الرياح والبحار. وإن مثل هذه الاستثمارات التي تجري في بلدان الجزر - أي في بريطانيا العظمى واليابان - هي مهمة على وجه الخصوص. فحسب تقدير العلماء البريطانيين أنه على حساب طاقة أمواج البحر في المياه الإقليمية لإنجلترا يمكن الحصول على طاقة أكبر بمرتين من الطاقة المنتجة الآن فيها.

لقد بنيت وحدات تجريبية كثيرة. تقوم بتحويل طاقة أمواج البحر إلى طاقة كهربائية. وهي مازالت بالطبع قليلة الاستطاعة جدا وغير متقنة. فمازال غير واضح مطلقا، كيف يمكن إنشاء محطة كهربائية تعمل على طاقة الأمواج ذات قدرة معقولة. وعلى كل حال، فمنذ عشر سنوات تحصل المضخة، التي توصل الماء إلى مسمكة المتحف الأوقيانوغراف[5] في موناكو، على الطاقة من الأمواج البحرية. وأكثر من 700 عوامة، منصوبة في أماكن مختلفة من المحيط تهدي السفن إلى الطريق بضوئها، المتولد بطاقة الأمواج. إن ذلك يبعث على الأمل بأن جهود العلماء ستثمر، وأن الطاقة الهائلة لأمواج البحار ستكف عن أن تذهب هدرا، دون أن تسهم في الرصيد العتيد للطاقة.

مازال أحد المنابع، المقيد في المحيط، يقلق خيال المخترعين. إنه طاقة التيارات البحرية، والأنهار الجبارة في المحيط، التي تحمل كتلا من الماء تفوق التصور. أضخمها نهرا تيار الخليج في أمريكا وكوروسيو - اللذان يحمل أولهما 83 والثاني 55 مليونا من الأمتار المكعبة من الماء في الثانية.

وهذا يعني من وجهة نظر علم الطاقة نحو ثلاثة مليارات من الكيلو واتات غير المستعملة! ومن الصعب إهمال مثل هذا المنبع الوافر والمستمر للطاقة، ولم تنتظر مشاريع استخدامه لصالح الناس.

فقد نشر الرياضي والميكانيكي الفرنسي المشهور غاسبارغوستاف دي كوريوليس عام 1835، عملا استنتج فيه معادلات تصف تأثير دوران الأرض على تيارات الكتل المائية، واكتشف وجود قوى غير معروفة سابقا، سميت «قوى كوريوليس». وقد سمي التصميم المعد في الولايات المتحدة الأمريكية لاستخدام طاقة تيارات المحيطات باسم كوريوليس تكريما له أيضا.

ووفق تصميم «كوريوليس» كان من الواجب أن توضع عند ساحل فلوريدا، حيث جريان تيار الخليج أسرع، عشرات الأنابيب العملاقة، التي تحتوي على العنفات. وهكذا فإن الأنابيب «المرساة» على عمق غير كبير، ستنتج باستمرار، مثل ثبات التيار نفسه، طاقة كهربائية ستكتفي تماما، وفقا لحسابات واضعي التصميم، لكل احتياجات الولاية، وبالطبع فصعوبات تحقيق التصميم - التقنية والاقتصادية - ضخمة، بيد أن المخترعين لم يفقدوا تفاؤلهم.

ولعل أول التجارب على نماذج صغيرة لوحدات الماكينات ستنجح في المستقبل القريب. ويقترح أن توضع «الكوريوليسات المصغرة» عند سواحل أستراليا، في مضيق، توريس، حيث تفوق سرعة التيارات البحرية 15 كيلومترا في الساعة. وستستعمل العنفات الموضوعة تحت الماء بقطر نحو ستة أمتار واستطاعة 400 كيلووات بوصفها طرازا جيدا سيستخدمه المصممون لإعداد المراكز الأساسية للعنفات العملاقة في المستقبل.

والمحيط ليس غنيا فقط بالطاقة الميكانيكية طاقة المد والأمواج والتيارات. فهو أكبر مركم للطاقة الحرارية على الأرض. فالمحيط العالمي يمتص القسم الأكبر من الطاقة القادمة من الشمس إلى الأرض. وفي السنين الأخيرة تجهز في مختلف البلدان تصاميم للاستفادة من هذه الاحتياطات الهائلة.

إن استثمار حرارة المحيط لا تخلق في الحقيقة مشكلات علمية جديدة. وقد اقترح الفيزيائي الفرنسي دي أرسونفال منذ أكثر من مائة سنة استخدام فرق درجات الحرارة بين الطبقة السطحية من المياه التي سخنتها الشمس

والمياه الباردة لأعماق المحيطات من أجل الحصول على الطاقة. إن مبدأ عمل المحطة الكهربائية الحرارية البحرية بسيط - فمياه المحيط الدافئة بدرجة نحو 25 درجة مئوية، تدخل في مبادل حراري يتبخر من خلاله النشادر. وتدوّر أبخرة النشادر العنفة المنتجة للطاقة الكهربائية، وتدخل بعد ذلك في تبادل حراري آخر مع المياه الباردة القادمة من عمق آلاف الأمتار، والبالغة حرارتها 5 درجات مئوية. وتتكثف أبخرة النشادر ويدخل بعدها في المبادل الحراري الأول، وتتكرر هذه الدورة كلها من جديد.

كل شيء بدا بسيطا إلى حدّ ما، بيد أن الصعوبات التقنية في تحقيق تصميم كهذا ليست بالقليلة. فليس بسيطا تحضير مبدّل حراري للاستفادة من أجل فرق صغير للحرارة كهذا، وليس سهلا رفع الماء من عمق كبير، ونقل الطاقة المنتجة إلى الشاطئ أمر معقد. ومن أجل حل هذه المشكلات وغيرها توحدت جهود اختصاصيي مختلف البلدان من أجل إعداد برنامج عام للأبحاث وتنفيذه، سُمي أوتيك (OTEK).

من أغسطس إلى نوفمبر عام 1979 أنجز بالقرب من جزر هاواي استثمار تجريبي لأول وحدة «أوتيك مصغرة» باستطاعة 50 كيلوواط فقط. وقد مرت تجارب المحطة صورة مرضية تماما، وتحضر المحطة الجديدة - «أوتيك - 1» باستطاعة بلغت ألف كيلوواط لإنزالها إلى الماء. إن تجارب هذه المحطة ينبغي أن تستمر ثلاث سنوات. ويريد الباحثون أن يستوضحوا ما إذا كان المبادل الحراري، الذي لا يمكن حمايته من إصابة البكتيريا وعشب البحر سيتلف. ولا تزال تعد تصاميم محطات أكثر استطاعة بكثير، صالحة من أجل الإنتاج الصناعي للطاقة. وتعد أيضا طرائق مختلفة للاستفادة من الطاقة المنتجة، من نقلها إلى الشاطئ بكوابل تحت الماء، وحتى استعمالها في مكانها من أجل الحصول على الهيدروجين.

وتقترح أيضا تصاميم غريبة تماما. فبعض العلماء يبحثون في إمكان وضع مثل هذه المحطة الكهربائية مباشرة على جبل جليدي عائم. عندئذ يمكن الحصول على البرودة الضرورية لعمل المحطة من الجليد مباشرة، واستعمال الطاقة المنتجة من أجل نقل كتلة عملاقة من المياه العذبة المجمدة إلى تلك الأماكن من الكرة الأرضية، التي تنقصها هذه المياه.

يقترح آخرون الاستفادة من الطاقة المنتجة من أجل تنظيم مزارع بحرية

منتجة للمواد الغذائية.

إن التصاميم العديدة لاستخدام طاقة المحيط العالمي، توجه أنظار العلماء باستمرار إلى هذا المنبع الذي لا ينضب.

فالمحيط الذي رعى فيما مضى الحياة نفسها على الأرض سيكون بالتأكيد مساعدا طيبا للإنسان أكثر من مرة.

أمل الإنسانية وخوفها

إن نبأ اكتشاف بروفيسور جامعة فورتسبرغ في ألمانيا ولهلم كونراد رونتجن غير المعروف من أحد قبل ذلك، أحدث في الصحافة العالمية 1895 حالة اضطراب شديد. فالأشعة الغامضة التي اكتشفها قادرة على النفاذ عبر الأشياء والأجسام غير الشفافة، وازدحمت الأنباء السياسية العادية، والعسكرية والعالمية في الصفحات الأولى للجرائد. فقد بحث الصحفيون بكل الطرق المجالات الممكنة لاستخدام هذه الأشعة، من التقنية حتى الجراحة. وبحث بجدّ حتى تأثير الأشعة في النظام العائلي التقليدي لشخص ساذج مستقيم، لم يعد قادرا على الاختفاء وراء الجدران السميكة لمسكنه. بيد أن تخيلات الصحفيين الحريصة على إحداث ضجة لم تجذب اهتمام العلماء بالاكتشاف المثير لرونتجن. إنما أثار اهتمامهم طبيعة الظاهرة الخفية، والمنابع الجديدة للأشعة الغامضة. إن الاكتشافات لم تُكره على الانتظار.

في الرابع والعشرين من فبراير عام 1896، استمعت بخبر في أكاديمية العلوم إلى خبر أدلى به بروفيسور الفيزياء في المدرسة البولتكنيكية الباريسية أنري بيكريل، الذي درس الإشعاع الضوئي لأملاح اليورانيوم. فقد اكتشف أن أملاح اليورانيوم تطلق كذلك إشعاعا ما. وبعد خمسة أيام لا أكثر أي في الأول من مارس أوضح بيكريل أن إشعاع أملاح اليورانيوم لا يتعلق بالتعرض التمهيدي للإشعاع بالضوء الشمسي.

مرّ العنصر رقم 92 - وهو العنصر المعروف وقتئذ برقمه الأخير في النظام الدوري - بسرعة على صفحات الصحف العالمية. وكان قد تبين أنه لا شيء يدل على مجد عالمي لهذا المعدن المحدود الشهرة، المسمى على شرف إله السماء عند اليونانيين القدامى، وأبي الجبابرة، ومتصلي العينين

والمردة ذوي الأيدي المائة. وقد كتب في الموسوعة الصادرة عام 1912 أن اليورانيوم يستفاد منه في تحضير طلاء اليورانيوم وزجاجه. وهذا كل شيء. بعد عدة عشرات من السنين تجسدت في اليورانيوم آمال الإنسانية ومخاوفها.

إن عشرات السنين هذه كانت أزمنة عظيمة في العلم، وفي الفيزياء قبل كل شيء. وأصبحت اكتشافات العلماء المهتمين ببحوث الإشعاع الغامض لليورانيوم، مفتاحا لمخزن طاقة الطبيعة.

السؤال الرئيسي الذي أثار اهتمام العلماء فورا: من أين تأتي طاقة أشعة بيكريل؟ قد يكون المنبع الوحيد للطاقة هو التغير في ذرات اليورانيوم فقط، هذا التغير الذي سيولد الطاقة. بيد أن قبول هذه الفرضية يعني الشك بمبدأ ثبات الذرّات المثبت عبر القرون! لقد تطلبت جرأة علمية ضخمة من العلماء، الذين سيتخطون حدود المألوف، وسيقبلون حقيقة تحول الذرات، وبنيتها المعقدة. كان العالمان الشابان إرنست رزرفورد، وفريدريك سودي من هؤلاء المقاديم[6]، وقد أوصلتهما سنتان من العمل الدائب في دراسة النشاط الإشعاعي إلى استنتاج ثوري وفقا لتلك الأزمنة:. .. «تخضع ذرات بعض العناصر لانحلال تلقائي مصحوب بإشعاع طاقة بكميات ضخمة بالمقارنة مع الطاقة المتحررة عند التغيرات الجزيئية العادية».

هكذا ابتدأت الفيزياء الذرية، الفيزياء التي تدرس العمليات الجارية في أعماق المادة. وتتابعت الاكتشافات في الفيزياء الجديدة هذه واحدا وراء الآخر. اقترح رزرفورد عام 1911 الطراز النووي للذرة، الذي أثبته نظريا بعد ذلك الدانمركي الشاب نيلس بور. وفي أعوام 1920 - 1922 تحققت التحولات النووية الأولى. وقدم فريدريك أستون عام 1920 شرحا لنشوء الطاقة الهائلة في نواة الذرة. وقد سلم في أساس شرحه بصيغة إنشتاين التي تربط الكتلة بالطاقة.

تميزت الثلاثينيات بجملة من الاكتشافات العظيمة، التي قادت الباحثين مباشرة، إلى إمكان تحرير الطاقة النووية. اكتشف جيمس شدفيك النيوترون، الذي تنبأ به العلماء النظريون منذ فترة طويلة، وهو جسيم نووي لا يحمل شحنة. أصبح النيوترون تلك الأداة، التي بوساطتها استطاع الفيزيائيون التوغل إلى أعماق نواة الذرة.

لقد حصلت إيرين وفريدريك جوليو كوري عام 1934 على عناصر مصنوعة ذات فعالية إشعاعية. وإذ قرر الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي إعادة تجربتهما، استخدم النيوترون بمثابة جسيمات قاذفة للنواة. وفاقت النتائج كل التوقعات. فقد تفوقت فعالية هذه القذيفة بكثير على إمكانات الجسيمات الأخرى.

في نهاية الثلاثينيات اكتشف تفاعل انشطار اليورانيوم، وأشير نظريا إلى إمكان تحقيق تفاعل الانشطار المتسلسل. تنطلق عند انشطار كل ذرة يورانيوم طاقة لا يستهان بها. وكان بالإمكان طرح مسألة الحصول على طاقة الذرة واستثمارها.

تطلع مؤسسو الفيزياء النووية أنفسهم بارتياب شديد إلى مكان الحصول على الطاقة النووية واستثمارها. وأبعد رزرفورد وبور بداية استثمار منبع الطاقة هذا إلى القرن الحادي والعشرين. قبل بداية الحرب العالمية الثانية كان التنبؤ الأكثر تفاؤلا، هو التنبؤ بأنه سوف يتسنى إلى نهاية قرننا، إنشاء وحدات صغيرة من أجل تدفئة مساكن من طراز مزارع تربية المواشي باستعمال الطاقة النووية. أما الواقع فكان خلاف ذلك.

... سيدي،

عند اطلاعي على مخطوطات الأعمال الأخيرة لـ إ. فيرمي ول. سيلارد توصلت إلى استنتاج أنه في المستقبل القريب جدا سيكون ممكنا تحويل اليورانيوم إلى منبع للطاقة جديد ومهم.. وهذا .. يمكنه أن يؤدي إلى التفكير بتصنيع القنابل المناسبة.. من طراز جديد، تتميز بقوة غير عادية.

هذا مقطع من رسالة إنشتاين إلى رئيس الولايات المتحدة فرانكلين ديلانو روزفلت، كتب في الثاني من أغسطس عام 1939. إن كثيرا من الناس يرون أنه ابتداء من هذا التاريخ يجب أن تعد الفترات المتعلقة باستخدام. الطاقة الذرية، ولكن ليس في أهداف سلمية، بل لإنشاء قنابل لا مثيل لها.

كلفت الحكومة الإنجليزية في بداية الحرب العالمية الثانية مخابراتها العسكرية باستيضاح أعمال ما تُجرى على القنبلة الذرية في ألمانيا. فقد كان هناك فيزيائيون من مستوى عالمي، أحدهم أوتوغان الذي اكتشف انشطار نواة ذرة اليورانيوم.

وقد اتضح أن المهمة ليست سهلة. فقد اضطروا لاستخلاص جميع

الاستنتاجات من معطيات غير مباشرة. كان معروفا فقط ما يلي: اكتشف الانشطار النووي لأول مرة في مخبر غان، ونوّه فلوغه اختصاصي اليورانيوم الألماني بوضوح بعد وقت ما بإمكان إنشاء أسلحة ذرية، كان العلم الألماني منظما تنظيما جيدا ويملك موارد كبيرة، وإن الطابع الفتّاك للأسلحة الذرية يلائم الخطة العدوانية لهتلر تماما.

لم تكن كمية السمك الذي اصطادته «الاستخبارات» كبيرة: فقد تأكد ضباط المخابرات بتحليلهم لمحتوى المجلات العلمية اليومية، وكذلك العلماء، أن فلوغه غالبا ما ينشر مؤلفاته، فإذا افترضنا أن ذلك ليس تضليلا خاصا، فواضح أنه لا يمارس أعمالا جدية ما. وبالمقابل لا يمكن قول ذلك عن الفيزيائي النووي غايزنبرغ، فاسمه اختفى تماما من المطبوعات، وحتى عندما دافع أحد زملائه عن أطروحته لم يكن اسم غايزنبرغ ضمن قائمة الأشخاص التي شكرها صاحب الأطروحة.

وقد لاحظ ضباط المخابرات والفيزيائيون علاوة على ذلك أن الشروح الموجزة، في المجلات الملخصة المتعلقة بالفيزياء النووية وتقسيم النظائر، قد ألفها الأشخاص أنفسهم. ولم يكن هذا بمحض المصادفة، مع أنه لا يصلح أن يكون دليلا أكيدا أيضا.

بيد أنه وجدت أدلة أكثر إقناعا أيضا. ففي عام 1940 أعطى الألمان تعليمات إلى الشركة النرويجية «نورسك خايدرو» بزيادة إنتاج الماء الثقيل في مصنعها عشرة أضعاف. وإلى بداية عام 1942 زادت المطالبة بتوريد مثل هذا الماء ضعفين. وبما أن الماء الثقيل مبطئ ممتاز للنيوترونات، الضرورية لعمل المفاعل الذري، فقد كان ذلك دليلا جديا. سافر المهندس في «نورسك هايدرو» المتعاطف مع إنجلترا خصيصا إلى ألمانيا، حيث تسنّى أن يستوضح بدقة، أن الماء مخصص للأبحاث النووية بالذات.

كل ذلك أنذر بالخطر. فالألمان إذن يعملون بجهد لصنع القنبلة، ولعلهم لديهم منجزات في هذا المجال. تعززت الشكوك خصوصا في أعوام 1942 - 1943، عندما بدأت الدعاية الألمانية تصيح بشدة عن أسلحة غير عادية تُخضر في ألمانيا.

حثّ الخوف العلماء. وليسوا وحدهم...

... في خريف عام 1940 غادرت رصيف الميناء الأفريقي لوبيتوبي

سفينتان. لم يعرف أحد إلى أين تتوجهان وما تحتويان في عنبرهما، ولو عرف أحد لحار في أمر ضرورة مثل هذه السرية لأجل نقل 1142 طنا من الخامات المركزة باليورانيوم. لأنه منذ القرن الثامن عشر عندما اكتشف السير هنري كلابورت اليورانيوم لم يستعمل أثقل المعادن هذا إلا في صناعة الفخار فقط. ولم يعرف سوى الفيزيائيين وقتئذ عن اكتشاف الألمانيين غان وشتراسمان لانشطار اليورانيوم بفعل التعريض للإشعاع بالنيوترونات. كان يكفي نيوترون واحد لكي تبدأ كتلة اليورانيوم كلها بالانشطار مع إطلاق كمية من الحرارة لا نظير لها. وتبين أنه بالترافق مع شظايا النواة المحطمة والطاقة في تفاعل الانشطار تتشكل نيوترونات جديدة قادرة على تحطيم النواة التالية، التي بانشطارها سيتشكل من جديد نيوترونات، وهلم جرا، وسميت هذه الظاهرة «بالتفاعل المتسلسل في اليورانيوم»، المكافئ العلمي لمفهوم «الانفجار الذري».

لم يكن يُحتاج إلى أكثر من نيوترون واحد فقط، لكي تصبح كتلة ما من المادة الفضية والدهنية الملمس القلب المتوهج للانفجار الذري. نيوترون واحد فقط! واحد فقط!

وصلت السفينتان، اللتان خرجتا تحت ستار الليل في لوبيتوبي، بعد شهرين إلى نيويورك، حيث انتظرتا بفارغ الصبر. تبين بعد قليل من الوقت أن محتويات العنابر موجودة في مدينة شيكاغو، حيث تسلمها الإيطالي القصير القامة المتسرع إنريكو فيرمي (سُمي فيما بعد هنري فارمر على النمط الأمريكي بهدف السرية).

أطنان من قوالب الغرافيت انتظرت دورها في المستودعات. فبموجب تصورات فيرمي كان ينبغي على الغرافيت أن يقلل قليلا من طاقة النيوترونات المنطلقة أثناء الانشطار. كانت النيوترونات السريعة للغاية غير قادرة على إحداث تفاعل متسلسل. لذلك خطط فيرمي لتخلل قوالب اليورانيوم بالغرافيت. فلكيلا يحمل التفاعل المتسلسل طابعا تفجيريا، يسمح عند الحاجة بالمرور عبر القوالب لقضبان من مواد ممتصة بنشاط للنيوترونات من الكاديوم أو البورون. لزم المفاعل من أجل إظهار إمكان تطوير التفاعل المتسلسل. أمل فيرمي وزملاؤه علاوة على ذلك بالحصول ضمن المفاعل على مادة جديدة، البلوتونيوم الأكثر ملاءمة من اليورانيوم من أجل تصنيع

القنبلة الذرية.

إن قوالب الغرافيت واليورانيوم شكلت باستمرار المكعب الأسود العملاق، الذي غطي بكيس مطاطي مضحك (سبب هذا الكيس كثيرا من الدقائق المرحة للفيزيائيين وكثيرا من الأيام الصعبة لشركة التقنية المطاطية، التي أعطيت أوامر صارمة لصنع «كرة بشكل مكعب». تبين فيما بعد أن الكيس لا حاجة إليه). تخلل قوالب اليورانيوم الغرافيتية «أواق»، هي قضبان من البورون أو الكاديوم. كان ينبغي من أجل الضمان في فترة التجربة المقبلة أن يقف على الرصيف، الواقع تحت المفاعل، علماء فتيان يمسكون بأيديهم سطولا مملوءة بمحلول ملح الكاديوم. وكان يجب على «الفرقة الانتحارية» أن تسكب هذا المحلول على المفاعل عند أول بوادر لتسارع المرجل لا يمكن التحكم فيه.

حل الثاني من يناير لعام 1942. وهكذا يصف الصحافي الأمريكي لورنس أحداث هذا اليوم:

حلت أخيرا اللحظة العظيمة. أمر فيرمي مساعده جوردن فيلي بسحب قضيب المراقبة الأخير «قدما آخر». فقد أخرجت كل القضبان الأخرى.

كان ينبغي أن يؤدي ذلك إلى عمل كل شيء؟ هكذا قال فيرمي للدكتور كومبتون، الذي وقف بالقرب منه على الشرفة فوق المفاعل.

مضت أربع دقائق متوترة. ولكن هاهي عدادات النيوترونات تقعقع بصخب أكثر فأكثر، فيرمي، الذي أجرى بسرعة حسابات على المسطرة الحاسبة، أغلقها بمزلاج، وامتصت قعقعة الأجهزة هذا الصوت. بدا فيرمي هادئا، وحتى مشغول البال.

كانت الساعة حسب توقيت شيكاغو تشير إلى الخامسة عشرة وخمس وعشرين دقيقة. وارتفع قلم إردواز المسجل الآلي المتحرك، الذي يسجل ما يجري داخل المفاعل الذري، أكثر فأكثر وإلى أعلى فأعلى، راسما خطا مستقيما عموديا لم يتقاطع مع الأفق. معنى هذا أنه داخل المفاعل يجري تفاعل متسلسل.

قالت فيرمي وسط القعقعة الصاخبة للعدادات النيوترونية: «التفاعل تلقائي». وانفرج وجهه المتوتر والمتعب في ابتسامة عريضة.

سُمح للنار الذرية بالاشتعال خلال ثمان وعشرين دقيقة. وبإشارة من

فيرمي أطفئت النار. حرر الإنسان طاقة نواة الذرة، وأثبت أنه قادر على التحكم فيها.

بعد عدة دقائق جرى حديث تليفوني متفق عليه بالهاتف الدولي. أخبر الدكتور كومبتون، رئيس «المخبر» بنتائج العمل: «آلو، جيم، هذا أنا أرثور. أعتقد أنه يهمك أن تعرف أن البحار الإيطالي قد وصل هذه الساعة إلى العالم الجديد؟».

كانت هذه جملة متفقا عليها. وتعني أن المفاعل الذري أثبت إمكان تحقيق التفاعل الذري المتسلسل. كان الطريق إلى القنبلة أصبح مفتوحا.

خودينكا... رأيت الكثير: مأساتك، وجنودا بلباس عسكري مختلف، داسوا عليك، ونقلوا على صدرك الأخضر المدافع والرشاشات وجرحوك في الأمكنة التي نصبت فيها الأهداف السوداء..

رأيت الكثير، أما كهذا، فلم تري.. لقد وُضع مدفعان قويان الأول مقابل الثاني مباشرة، أطلقا باللحظة نفسها، المحسوبة بدقة لا نظير لها. موتان متوهجان، تجشأهما قصف المدفعين، وبقوة خارقة انبسط أحدهما على الآخر، فقدما المعرفة للعلماء المحتشدين في جميع الجهات من أجل إنشاء السلاح، الذي لا يعد أكثر من لسعة بعوضة أوصأصأتها إذا ما قورن بهذين الموتين المزمجرين نافثي النيران واصطدامهما.

على طرف حقل خودينكا السابق في موسكو بنيت عام 1943 عدة أبنية، واضعة بداية لأضخم مركز ذري سوفييتي. وبإعطاء أمر لبناء قطعة الأرض المترامية الأطراف ذات حقل البطاطس الرحب، وغابة الصنوبر، والسكة الحديدية، أوصى الأكاديمي الشاب والمشرف العلمي على مسألة اليورانيوم أول الأمر بأن تُبنى الأبنية بمحيط الساحة المخصصة، حتى يكون من غير الممكن إعادة مثل هذه القطعة إلى صاحبها السابق. هذا الإنسان الأسمر الوجه، العجول، الفارع الطول، الذي لم يتجاوز الأربعين بعد، ومع ذلك فقد زينت وجهه لحية كثيفة عريضة لوحها الشيب. «سأحلق بعد الانتصار الكامل».

لقد كان هذا عام 1943، بعد القتال في مشارف لينينغراد، عندما برز الانعطاف في الحرب، وبدأت جحافل الفاشيين الذين هددوا المدينة بالقضاء المحتوم على أهلها، بالتراجع إلى الوراء، تاركين خلفهم الخرائب.

وأصبح ممكنا الآن فقط إعطاء عامل اليورانيوم السوفييتي المدى الضروري. ومنذ فترة قصيرة فقط استطاع أيغور فاسيليفتش كورتشاتوف أن يترك أعمال إزالة مغنطة السفن وتطوير درع الدبابة.

واستطاع كورتشاتوف الآن فقط هو وزملاء ما قبل الحرب، المأخوذون أحيانا من الطليعيين في الجبهة، أو من ورشة مصنع حربي، أن يباشر ببناء معهد كبير حقا، وتنظيم صناعة اليورانيوم والغرافيت وإنشاء جهاز لتحطيم نوى الذرات وأول مفاعل ذري.

سار العمل في مبان غير مدفأة، وفي الخيام، ودون أبسط التجهيزات. لم تكف المعلومات الإحصائية، ومعرفة الثوابت النووية التي تطلب الحصول عليها وقتا.

كل شيء تطلب وقتا. ومع أن الباحثين سبقوا هذا الوقت دائما، فلم يكف.. فقد كان حجم الأعمال عظيما للغاية، وكانت الأموال محدودة للغاية، والدمار عظيما للغاية.

وبعد انتهاء الحرب مع ألمانيا الهتلرية حلم كورتشاتوف من جديد، وكما فيما مضى سوية مع جوليو كوري في لينينغراد، بطاقة كهربائية من الذرة رخيصة، وبالسفن وبالطائرات، التي في محركاتها تجيش الذرة المروضة، وبالأبحاث السلمية.

إلا أن ما جرى بعدئذ أثبت أنه من السابق لأوانه إنهاء الأعمال بالسلاح الذري. لقد فهم الانفجارات فوق هيروشيما وناغازاكي، اللذين لم تقتضيهما الضرورة العسكرية، وأنه نشأ في العالم وضع، خطر فيه لدولة أن تملي إرادتها على دولة أخرى.

أعطت الحكومة السوفييتية لمعهد كورتشاتوف أثناء هذا الوضع، مهمة جديدة، هي التعجيل في إنشاء السلاح الذري السوفييتي.

كان ذلك عملا لا نظير له بالمقاييس والوتائر. ففي عهد مجلس مفوضي الشعب لاتحاد الجمهوريات السوفييتية الاشتراكية أنشئ مجلس علمي تقني للسلاح الذري، رأسه «المفوض الأسطوري للذخائر» ب. ل. فانيكوف. وجندت كل المعاهد، التي استطاعت أن تساعد في عمل القنبلة، وأنشئت معاهد جديدة. ولكسب الوقت بدئ ببناء المصانع الذرية، مع أنه لم يكن واضحا تماما بعد، ماذا سينتج في هذه المصانع وبأية طريقة. وأنشئت مدن

وقرى «ذرية» جديدة.

في الوقت نفسه بني في خودينكا مبنى خاص من أجل المفاعل الذري السوفييتي الأول. وتم تسلم أول الأطنان من اليورانيوم والغرافيت من المصانع. رتبت منها في البداية نماذج صغيرة للمفاعل، ودرست عليها العمليات داخل الجهاز. حدد بناء المفاعل «فوق الحرج» الكبير الرئيسي في مبنى خاص، سمي اصطلاحا «بورشات التجميع». وكان على المفاعل، كما أوضحت الأبحاث على «النماذج تحت الحرجة»، أن يكون ارتفاعه نحو ثمانية أمتار (ستة أمتار للمنطقة النشيطة، ومتر على الجانب، الجدار الغرافيتي العاكس للنيوترونات). وكان من الواجب أن تتكون الأسطوانة العملاقة من طبقات، وأن تتشكل كل طبقة من طوبات غرافيتية، وأحدثت في طوبات المنطقة النشيطة ثقوب، وضعت فيها أسطوانات اليورانيوم.

لقد أعيرت السلامة اهتماما كبيرا للغاية أثناء عمل المفاعل، مع أن أقرب مسكن بالقرب من محطة المترو «سوكول» عن المفاعل يبعد عدة كيلومترات. البيت القريب الوحيد هو بيت كورتشاتوف.

جمع المفاعل نفسه في مبنى «ورشات التجميع». وكانت لوحة التحكم تقع تحت الأرض أيضا. وتوضعت كذلك لوحة التحكم الاحتياطية بالمفاعل تحت الأرض على بعد كيلومتر عن «الورشات». كان من الممكن أن يطفأ التفاعل بإنزال قضبان من الكاديوم في المنطقة النشيطة، وعلاوة على ذلك اقترحت قضبان طوارئ، يمكن إلقاؤها إلى الأسفل في حالة تسارع غير متوقع للتفاعل.

أجرى العمال بناء المفاعل متخذين الحيطة بصرامة. وهاهي الطبقات الأولى والثانية والثالثة قد وضعت، ومضت نصف سنة فقط ليس أكثر منذ أول تفجير للقنبلة الأمريكية. ومنذ عام 1949 بقيادة كورتشاتوف بدأ العمل بمشروع المحطة الكهربائية الذرية، التي كان عليها أن تصبح مبشرة للاستخدام السلمي لطاقة الذرة.

إن يوم السابع والعشرين من يونيو عام 1954 سجل بأحرف ذهبية في تاريخ علم الطاقة. ففي هذا اليوم ولدت تيارا أول محطة كهربائية ذرية في العالم، بالقرب من موسكو-في أوبنينسك. وبلغت استطاعة باكورة الطاقة الذرية هذه خمسة آلاف كيلو وات لا أكثر، إلا أنه اختبرت هنا أهم الحلول

التقنية جميعا.

من حيث المبدأ لا يختلف مخطط المحطات الكهربائية الذرية بشيء عن المحطات الكهربائية الحرارية التقليدية. فبالطريقة نفسها يدوّر البخار العنفة، التي تدور المولد، المنتج للطاقة الكهربائية. إنما بدلا عن المرجل الذي يحول الماء إلى بخار، والذي يحرق في فرنه النفط، والغاز أو الفحم،. يسخن مرجل المحطة الكهربائية الذرية الماء على حساب الطاقة المستخرجة من نواة الذرة. إن تفوق مثل هذا المرجل واضح، لأن الغرام الواحد من اليورانيوم يحتوي على الطاقة نفسها الموجودة في قطار كامل مملوء بالفحم الحجري! فلا حاجة للتفكير يوما بإيصال المحروقات، التي تخلف آلاف وملايين الأطنان من الرماد، أو بتلوث المحيط الجوي بنواتج احتراق الوقود العضوي.

بيد أن علم الطاقة الذرية جلب معه أيضا جملة من المشكلات التي لم تعرفها علم الطاقة التقليدية. أهمها مشكلات الأمان.

المحطة الكهربائية الذرية - هي في جوهرها قنبلة ذرية، بطئت العمليات فيها، حسب تعبير الفيزيائيين، إلى حالة مستقرة. ولذلك عند تصميم المحطات، وبنائها تتخذ تدابير أمان غير عادية لدرجة، يبلغ معها أمان منابع الطاقة الخطرة المحتملة قيما خيالية. وقد أثبت ذلك استثمارها لسنين عديدة.

أجرى خبراء لجنة الطاقة الذرية في الولايات المتحدة الأمريكية حسابا لإمكان الحوادث في مائة محطة كهربائية ذرية بمفاعلات مبردة بالماء المغلي تحت ضغط، ودرسوا بدقة احتمال الحوادث بصورة عامة وعواقب اثني عشر حادثا فرضيا. فتبين أن الأشكال الأخرى من حوادث الطائرات والسيارات وما شابه ذلك، تحصل أكثر بكثير حتى من أكثر الأعطال القليلة الأهمية في المحطات الكهربائية الذرية. وإن احتمال ألف وأكثر من حوادث الموت في مائة محطة كهربائية ذرية في أمريكا، يساوي واحدا بالمليون تقريبا. وهذا يعني أن مثل هذه الحادثة محتمل مرة واحدة لا أكثر في مليون من السنين. واحتمال حوادث الموت أعلى بألف مرة أثناء الحرائق، وبخمسة آلاف مرة أثناء حوادث الطائرات، وبعشرين ألف مرة أثناء الزلازل، وبأربعين ألف مرة أثناء العواصف. ويمكن أن تسبب الحوادث في جميع

هذه المحطات الكهربائية الذرية خسارة مائة مليون دولار مرة واحدة لا أكثر في خمسمائة سنة. وتجلب الحرائق العادية خسائر من مثل هذا المقياس كل سنتين. واحتمال موت الإنسان أثناء العمل في المحطة الكهربائية الذرية يساوي احتمال إصابة مباشرة له من صاعقة!

ومع ذلك فقد وقع حادث في المحطة الكهربائية براونس فيري في كاليفورنيا في مارس عام 1975. وبعد سنة تقريبا نشر القرار الرسمي للجنة المخصصة للتحقيق في ظروف الحادث. وتبين أن الحادث قد تسبب من حريق: فقد احترقت الكوابل تحت المكان، الذي وقعت فيه لوحة التحكم. كان سبب الحريق تافها للغاية، فقد نسي العامل، الذي حدد مكان تسرب غاز، لا هذا المكان شمعة مشتعلة. ثم جرت أخطاء كثيرة. اتضح في البداية أن نظام إطفاء الحريق عاجز عن العمل، ثم التبس برقم هاتف فرقة المطافئ. وعلى كل حال عندما وصلت فرقة المطافئ اتضح أن أحدا لا يعلم كيف ينبغي إطفاء الحريق في المحطة الكهربائية الذرية. وبعد ست ساعات من بداية الحريق فحسب قُرّر إطفاؤه بالماء العادي، الذي كان كافيا تماما. وتلافوا الحادث الضخم، ولم تحدث كوارث.

في عام 1979 حدث قذف للمياه المشعة من مفاعل محطة كهربائية ذرية أخرى في الولايات المتحدة الأمريكية. واضطروا لإجلاء سكان المراكز السكنية القريبة.

إن مثل هذه الحوادث أرغمت المصممين على التخلي عن اللامبالاة التي سببها الإحصاء المتفائل السابق. وإن التعامل مع تقنية معقدة وخطرة بهذا المقدار يتطلب حذرا على أعلى الدرجات. فحماية المحطات الكهربائية الذرية أكثر تعقيدا بما لا يقاس من حماية المحطات العادية.

المشكلة الأخرى، التي يتحدث عنها دائما أعداء الطاقة الذرية، كأعضاء حزب «الخضر» في ألمانيا الاتحادية مثلا (أحد شعاراتهم: الطاقة الذرية؟ شكرا، لسنا بحاجة إليك)، - هي مشكلة الأمان الإشعاعي. فمعارضو الطاقة الذرية يؤكدون أن بناء المحطات الكهربائية الذرية سيلوث قطعا الوسط المحيط، وسيعرض سكان المناطق القريبة للعديد من الأمراض، التي يسببها التعرض للإشعاع. غير أن الحسابات تظهر أن مستوى الإشعاع من تأثير المحطة الكهربائية الذرية بنصف قطر قدره ثمانون كيلومترا عنها أقل

بستة آلاف مرة على أقل تقدير من جرعة الإشعاع لخلفية النشاط الإشعاعي الطبيعي.

إن تحليل «حجج» أعداء علم الطاقة الذرية يظهر في بعض الحالات أنه لا يدخل في عدادهم مطلقا المتحمسون لنظافة الحقول والغابات والبحيرات فقط. إذ يناضل ضد المحطات الذرية، على سبيل المثال، ممثلو المجمع الصناعي العسكري في الولايات المتحدة الأمريكية، غير الراغبين بمفارقة اليورانيوم والبلوتونيوم: فلا يناسبهم أن يستخدم هذان العنصران النادران بفعالية في المفاعلات الذرية للمحطات. وليس في الرؤوس المدمرة الذرية. كذلك المالكون الجبابرة لشركات النفط والفحم العملاقة في العالم الرأسمالي، الذين ستتعرض أرباحهم للخطر عند التطور الواسع لعلم الطاقة الذرية.

ليست المشكلات التقنية وحدها التي تنشأ عند استخدام الطاقة الذرية. فكيف يمكن مثلا الجمع بين تطور علم الطاقة الذرية والتراكم الحتمي للبلوتونيوم - المادة الممتازة من أجل إعداد القنبلة الذرية - مع أفكار عدم انتشار السلاح الذري؟ ألا ينبغي سحب البلوتونيوم المتراكم، وإبقاء الطاقة الذرية «لليورانيوم» فقط؟ إن هذه المخاوف المشروعة والمقترحات الطبيعية تنجم خارج مجال التقنية وتقتحم مجال السياسة، ذلك المجال الذي برهن فيه بلدنا منذ زمن طويل أنه مناضل لا ينحرف عن مبادئه من أجل نزع السلاح النووي.

خطر آخر غير متوقع أيضا. فبعض العلماء يبدون شكوكا: ألا يمكن أن تكون مراقبة حفظ البلوتونيوم المتشكل ضعيفة في بعض المحطات الكهربائية (وعددها قد أصبح يعد بالمئات، وقريبا سيعد بالآلاف) مما سيؤدي إلى سرقة هذا العنصر النادر من بعض الأشخاص الذين يتعمدون العمل السيئ، أو من إرهابيين سياسيين، أو ببساطة من مجرمين، لكي يحضروا بأنفسهم سلاحا ذريا بدائيا؟ هذا ليس أيضا مجالا تقنيا، إنه بالأحرى مجال الشرطة الجنائية. ومع ذلك فهو مرتبط ارتباطا وثيقا بتطور الطاقة الذرية.

تبقى أخيرا مسألة حفظ النفايات المشعة، المتشكلة أثناء عمل المحطات الكهربائية الذرية، أو إزالتها، مسألة ملحة حقا. هكذا ألقت مصانع البلوتونيوم في الولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا نفاياتها المشعة في

البحار والمحيطات، وفي فرنسا حلت هذه المسألة ببساطة أكثر. فقد رميت النفايات المشعة ببساطة في السين. وقد أقبلوا الآن على حل المسألة حلا أكثر جدية بكثير، حتى أن بعضهم يعدها مسألة مستعصية.

إن هذه النفايات قبل كل شيء قليلة للغاية، طن واحد لكل 10 مليارات كيلووات ساعي من الطاقة المنتجة، التي تساوي عشرات الملايين من الروبلات. وبالطبع، كل إجراء قد يتخذ لدفن كمية قليلة من النفايات، لن يؤثر تقريبا في ثمن الطاقة الكهربائية. يضاف إلى ذلك أن شظايا انشطار الوقود النووي القصير العمر تؤدي قسطا رئيسيا في الفعالية الإشعاعية للنفايات. ويحفظ الوقود الذي يؤدي عمله في المفاعل عدة سنوات في أماكن خاصة في المحطة مباشرة. وعند ذلك تنخفض فعاليته الإشعاعية ألف مرة، ويصبح دفن مثل هذه النفايات أمرا غاية في البساطة.

يُبحث الآن عن مثل هذه التكوينات الجيولوجية على البر وفي قعر البحار والمحيطات، التي تؤمن منع التسرب بطبيعتها نفسها. مثلا، ينظر بإمكان حفظ شظايا انشطار وقود اليورانيوم التي تعيش طويلا في القبب الملحية. فإذا كان الملح قد حفظ هنالك خلال مئات الملايين من السنين حتما، فذلك يعني أن الماء لم يصل إلى هنالك من السطح وأن القبة مغلقة بإحكام تام.

وأخيرا: هل سيكفي اليورانيوم طويلا؟ وهل ستعاني الإنسانية من المشكلة نفسها، التي تعترضها الآن: مشكلة محدودية احتياطات منابع الطاقة الطبيعية؟

وفقا لحسابات العلماء سيكفي الوقود الذري لفترة طويلة جدا. وسيكفي اليورانيوم الموجود في القشرة الأرضية لعدة مئات من السنين. ويوجد نحو 4 مليارات طن من اليورانيوم محلولة في مياه المحيط العالمي. وفي الحقيقة مازال استخراجه من مياه البحر غير مستوعب بصورة كافية بعد. بيد أنه لا يوجد مجال للشك في أن هذه المسألة التقنية ستحل.

الأمل الرئيسي للاختصاصيين في علم الطاقة هو استعمال المفاعلات المولدة، مفاعلات النيوترونات السريعة. ففيها يتحول اليورانيوم الموضوع في البداية كليا تقريبا إلى البلوتونيوم، الذي هو عبارة عن «وقود» ذري أيضا.

ولا ريب في أن الطاقة الذرية شغلت مكانا راسخا في ميزان الطاقة، وسوف يتطور بنجاح إلى الأمام أيضا، مزودا البشرية بلا توقف بالطاقة الضرورية لها جدا.

الشمس على الأرض

منذ ملايين السنين والنجوم البعيدة تطل على الأرض. ومنذ آلاف السنين والناس ينظرون إلى النجوم، ويهتدون بها في الليل أيضا. بيد أن الإنسان عرف منذ زمن قريب نسبيا بُعد النجوم وحجمها، وأدرك أن الشمس هي التي تهب الحياة - أقرب نجم إلينا. ولقد فكر العلماء منذ زمن قريب جدا، من أين تأخذ النجوم الطاقة، التي تسمح لها بالإضاءة دائما وبلا تغير مليارات السنين.

إن الفيزياء النووية فقط هي التي استطاعت الإجابة عن هذا السؤال. وقد اتضح أن العملية الوحيدة التي يمكنها أن تؤمن الطاقة للنجوم، هي عملية الاندماج النووي، عندما تندمج النوى الخفيفة مشكلة نوى أثقل تطلق أثناء ذلك طاقة خارقة وهائلة فعند تركيب غرام هليوم واحد من الهيدروجين تنتج الطاقة نفسها، التي تنتج عن إحراق 25 طنا من أحسن الفحم!

إن وضع الاندماج النووي في خدمة الإنسانية، وتأمين مصدر طاقة لها لا ينضب، هي مسألة جدية تماما، تمثل أمام الفيزيائيين في أيامنا.

إن مخطط تحرير الطاقة النووية الحرارية جلي تماما من الناحية النظرية. وكان من الممكن اقتراحه منذ أصبح واضحا للعلماء من أين تأخذ النجوم طاقتها التي لا تنضب. فضلا عن أن الاندماج النووي متحقق عمليا في الظروف الأرضية - عند انفجارات القنابل الهيدروجينية. ولذلك، وكما قال الأكاديمي ب. ل. كابتس في محاضرته بمناسبة فوزه بجائزة نوبل، إن السؤال الذي« يثير بعض الحيرة»: لماذا إذن لم يتم حتى الآن النجاح في تحقيق الاندماج النووي لا في التفجير، بل بحيث يصبح مصدرا للطاقة لا ينضب؟

وبالفعل، فلتحقيق اندماج نووي حراري موجه ينبغي «فقط»تسريع نوى الذرات الخفيفة لتلك السرعات، بحيث لا تتطاير عند التصادم في جهات

مختلفة، بل تندمج. وفضلا عن ذلك يجب أن تكون نوى مثل تلك الذرات كثيرة لدرجة كافية، بحيث تصبح التصادمات والاندماجات حوادث متكررة. نظريا كل شيء بسيط إلى حد ما، أما التطبيق...

يبحث العلماء عن طرق عديدة لتحقيق التفاعل، الذي يجري في النجوم، في ظروف الأرض. وقد اتضح أن إحدى هذه الطرق مسدودة، ولعل الطرق الأخرى ستحقق نجاحا. ثمة طريقتان تعدان حتى الآن أكثر مستقبلا.

الطريقة الأولى: هي إنجاز المقترحات التي نشأت في بداية الأعمال بالاندماج النووي الحراري الموجه. قبل كل شيء قرر الفيزيائيون إنشاء «مادة شمسية» - أي بلازما على الأرض. وحسب العلماء أنه من أجل أن تحصل نوى الذرات في مثل هذا الغاز على طاقة كافية لاندماجها أثناء التصادمات، ينبغي تسخين البلازما لدرجة حرارة أعلى من 100 مليون درجة. ويجب أن تكون البلازما أثناء ذلك كثيفة نوعا ما، لكي يكون عدد تصادمات النوى كبيرا.

واضح أن مثل هذه المادة الغريبة لا يمكن حفظها في وعاء من الأوعية المصنوعة من مواد أرضية، فعندما تلامسها ستبرد البلازما فورا، وستحترق الأوعية.

ولدت في الخمسينيات فكرة المحافظة المغناطيسية على البلازما. توضع البلازما على أساس هذه الطريقة ضمن «كيس» منسوج من خطوط قوى مجال مغناطيسي شديد القوة، وتعلق في الفراغ ولا تلامس شيئا.

اتضح أن البلازما مادة متقلبة جدا، وتقاوم كل محاولات لجمها. فاضطر العلماء لتذليل صعوبات كثيرة، ريثما أنشئت الوحدات ذات المصايد المغناطيسية، التي نجحت شيئا فشيئا لا تذليل البلازما المتمردة. وقد سميت هذه الوحدات باسم «توكاماك» («غرفة حلقية ذات مجال مغناطيسي محوري»، أو «تيار وغرفة ووشيعة مغناطيسية»). وقد أصبحت هذه الكلمة الروسية المختصرة شائعة الاستعمال في العالم مثلها كمثل كلمة «سبوتنيك»[7].

إن وحدات المحافظة المغناطيسية على البلازما تبنى كذلك في بلدان عدة. وهي وحدة«جيت»، التي أنشأها علماء أوروبيون، ووحدة«VIIA فيندلشين»، التي تحقق فيها المحافظة بثبات على البلازما المسخنة حتى 10

ملايين درجة حرارية. وأخبر العلماء في جامعة برنستون في ولاية نيوجرسي أنهم تمكنوا من إيصال درجة حرارة البلازما في التوكاماك إلى 60 مليون درجة. غير أن الطاقة المصروفة للتسخين والمحافظة على البلازما أثناء ذلك تفوق بمائة مرة الطاقة المنطلقة.

الطريقة الثانية: لتوجيه الاندماج النووي الحراري فاقت الآفاق الواسعة: هي «المحافظة العطالية» على البلازما. في أثناء هذه الطريقة تنتقل طاقة هائلة إلى «قرص» من خليط الهيدروجين الثقيل - الديوتريوم والتريتيوم - فائق الثقل في جزء من المليون من الثانية. يتكون في جوف «القرص» درجات حرارة عملاقة وضغط يمكن عنده أن يبدأ التفاعل النووي الحراري. ومع أن مثل هذه الأبحاث بدأت منذ وقت قريب نسبيا، لكنها تتطور بسرعة كبيرة - لأنه لدى العلماء وفي أيديهم تقع الليزرات الجبارة، التي يمكنها بسرعة الضوء نقل الطاقة الضرورية إلى الهدف.

إن فكرة استخدام أشعة ليزر من أجل تسخين قطعة صغيرة من المادة إلى الدرجة النووية الحرارية، وإنشاء قنبلة هيدروجينية ميكروية، نشأت تقريبا في آن واحد في البلدان المختلفة.

وأنشأ العلماء الأمريكيون جهازا سموه «شيفا» على شرف الإله الهندي المتعدد الأيدي. وفي هذا الجهاز توجه أشعة عشرين «ليزر» فائق القدرة طاقة على قرص تريتيوم ديوتريومي، تفوق باستطاعتها استطاعة كل المحطات الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية بخمس وعشرين مرة! غير أنه ليس بالحزم الليزرية فقط يمكن نقل طاقة إلى الهدف. فيمكن تحقيق ذلك في الجهاز، الذي يتم فيه قذف الهدف بالإلكترونات المنطلقة من المسرعات الإلكترونية.

عند تحقيق التفاعل النووي الحراري بهذه الطريقة يتوجب على العلماء تذليل صعوبات كبيرة. حيث ليس من السهل إيجاد مادة تصنع منها جدران الحجرات، التي سيجري فيها حتى انفجار صغير كل ثانية، ولكنه مع ذلك نووي حراري، ومن الصعب كذلك تحويل الطاقة المنطلقة إلى طاقة كهربائية.

تبقى الشمس على الأرض حتى الآن حلم العلماء. ولكن منجزات كثيرة في الآونة الأخيرة تدلى على أن هذا الحلم سيصبح حقيقة. فمن الواضح أن الإنسانية ستحصل إلى نهاية هذا القرن على مصدر للطاقة لا ينفد؟

لأن احتياطات الديوتريوم في المحيط العالمي كبيرة لدرجة أنه سيكفي لمليارات من السنين حتى عند زيادة إنتاج الطاقة العالمي مرات كثيرة.

اقترينا من نهاية قصة الطريق العظيم للإنسانية في بحثها عن الطاقة. إن بداية هذه الرحلة العظيمة تلتقي بالخطوات الأولى للإنسان على الأرض. فقد خطا معاصرو سلفنا البعيد، الذين أبقوا على سلسلة من الآثار في مغارة أولد فاي، الخطوات الأولى على هذه الطريق. والآن يمكن كشف آثار الناس وإبداعات أيديهم وعقولهم على الكواكب البعيدة وفي أعماق الفضاء اللامتناهي.

كانت هذه الطريق صعبة. وقد اتسمت بإضاءات عبقرية، وبمآس إنسانية أيضا، وتحول التقدم السريع إلى الأمام بين آونة وأخرى إلى ركود، وتجميع القوى للدفعة الجديدة. ولكن هذه الطريق لم تنقطع أبدا. ولن تنقطع في المستقبل أيضا، لأنها لا نهائية كتطور الإنسانية.

لقد أصبحت أطر علم الطاقة المقبلة واضحة الآن. وسوف تنتج المحطات الكهربائية الذرية الجبارة القسم الأكبر من الطاقة اللازمة للبشرية. وستنضم إليها في بداية القرن الحادي والعشرين بلا شك المحطات الكهربائية النووية الحرارية غير الملوثة للمحيط الجوي والأرض. والتي تستخدم الماء العادي وقودا. وستؤمن للإنسانية طويلا كل كمية ضرورية لها من الطاقة.

إن وحدات منابع الطاقة المتجددة ستأخذ على عاتقها قسما من حمل الطاقة، التي هي المحطات الكهرمائية، ووحدات الطاقة الشمسية، والمحركات الهوائية، والوحدات المستخدمة لطاقة المحيط العالمي وحرارة بواطن الأرض. وإذا كان قسطها غير كبير في ميزان الطاقة العالمي، إلا أنه مهم جدا، لأن مثل هذه الوحدات ستؤمن الطاقة للقرى السكانية الصغيرة، حيث بناء محطات كهربائية ضخمة أو تمديد خطوط نقل الطاقة الكهربائية أمر غير مربح.

إن وفرة الطاقة ستمكن البشرية من تحقيق أجرأ المشاريع. وسيكون بمقدور الإنسان أن يغير وجه الأرض، وأن يحيد مجرى الأنهار الجبارة إلى ما يناسبه، ويحول الصحاري الحالية إلى حقول مزدهرة، ويحمي نفسه من الكوارث الطبيعية المخيفة، ويغير مناخ مناطق واسعة. ويصبح من الممكن حل مشاكل البيئة، وشفاء الجروح، التي ألحقت بالطبيعة عبر القرون نتيجة

استثمارها بلا تفكير.

إن مسألة الطاقة، واحدة من أهم المسائل الشاملة، التي تُعنى بحلها جميع شعوب الأرض على حد سواء، جميع البلدان المتطورة، والنامية أيضا. وستقود ضرورة حل المسائل الشاملة الإنسانية حتما إلى بناء مجتمع اشتراكي، لأنه بهذه الظروف فقط يمكن تحقيق اجتماع مصالح الدول المنفردة، وكل البشرية عامة.

كتب أنطوان دي سينت إكزوبري : «تستحوذ علينا وتهمنا الأعمال الإنسانية فقط». وستكون الأعمال الإنسانية دائما، وإبداعات العقل القادر والأيدي الماهرة للبشر، ضمانة لكيلا يتوقف التقدم أبدا. ولن تقف الحاجة إلى الطاقة قط عقبة في طريق تطور الحضارة الإنسانية.

الهوامش

(1) الإنسولاتور: هو المحرك الذي يعمل على الطاقة الشمسية - المترجم.

(2) سونتسه: هي الشمس - المترجم.

(3) بلوتون: باليونانية Pluton - في الأساطير الإغريقية هو إله عالم ما تحت الأرض، ومملكة الأموات (قاموس الكلمات الأجنبية، دار اللغة الروسية، موسكو 1988، ص 315) - المترجم.

(4) الكرونومتر: هو عبارة عن ساعة منقولة فلكية لولبية موضوعة في صندوق خاص، وهي معلقة فيه بتصميم خاص، وتتميز بدقة عالية. تستعمل بصورة أساسية في البعثات والملاحة.. الخ. (قاموس الكلمات الأجنبية، دار اللغة الروسية، موسكو 1988، ص 552) - المترجم.

(5) المتحف الأوقيانوغرافي: هو حديقة الحيوانات البحرية - المترجم.

(6) المقاديم: جمع مفرده مقدام - المترجم.

(7) سبوتنيك: هو القمر الاصطناعي الأول - المترجم.

المؤلفان في سطور:

فلاديمير كارتسف

* دكتور في العلوم التكنيكية.
* عضو في اتحاد الكتاب السوفييت.
* له مؤلفات عدة منها: ماكسويل، ومغامرات المعادلات العظيمة وأقاصيص عن الفيزياء.
* تحظى مؤلفاته بالتقدير، كما ترجمت إلى كثير من اللغات الأجنبية.

بيوتر كازانوفسكي

* مرشح في العلوم الكيميائية، ومختص في مجال الطاقة الكهربائية ومتانة النظم التكنيكية.
* يعمل في نشر العلم وتعميمه منذ عام 1967.
* اشترك مع المؤلف الأول كارتسييف في العديد من المؤلفات العلمية.

المترجم في سطور:

محمد غياث بن عز الدين الزيات

* من مواليد دمشق- سورية عام 1958.
* حصل على الماجستير في العلوم التكنيكية من جامعة خاركوف البوليتكنيكية في جمهورية أوكرانيا.
* ترجم عن الروسية مسرحيتي إيفانوف وعائلة بلا أب لأنطون تشيخوف إلى اللغة العربية، إلى جانب عدد من المقالات العلمية.
* يعمل حاليا رئيسا لمكتب متابعة محطة تشرين الحرارية بمؤسسة الكهرباء بدمشق.



الاتجاه القومي
في الرواية
تأليف:
د. مصطفى عبد الغني

هذا الكتاب

يتعرض هذا الكتاب للمنابع الأولى للطاقة لدى الإنسان منذ الآثار الأولى التي وصلتنا عن الإنسان على الأرض. ويهتم، ليس بالتطور البيولوجي للإنسان، وإنما بكيفية صنع الإنسان لعالم التكنيك والطاقة كما يرى المؤلفان. ويستعرض الكتاب عظماء المكتشفين والمخترعين والعلماء عبر الحضارات، مرورا باكتشاف النار وأثره في حضارة الإنسان إلى عصرنا الحالي، عصر الطاقة الكهربائية واستخداماتها في جميع مجالات العلم، إلى عصر الذرة، إلى عصر الفضاء، إلى آخر المكتشفات والاختراعات العلمية في عالم التطور التكنولوجي، كما يذكر الصراع القديم بين أماني الإنسان وإمكانات نشاطه خلال التطور التاريخي.

ويجيب الكتاب في آخر فصوله عن سؤال: ماذا ينتظر الإنسانية، جوع طاقي أم وفرة في الطاقة؟ وذلك بعد بحث ومعالجة كبيرين ومستفيضين لتاريخ معالجة الإنسانية لهذا السؤال في طريق بحثها عن منابع جديدة للطاقة، وكل ذلك في تسلسل فريد معزز بالتواريخ والحوادث والمواقع والأشخاص الذين أثروا في التطور الحضاري للبشرية، حتى يوصلنا في النهاية إلى الجواب المقنع، المؤكد بالحقائق والأرقام التاريخية، وهو أنه لن تقف الحاجة إلى الطاقة في وجه تطور الحضارة الإنسانية وتقدمها.

والكتاب في النهاية، على حد تعبير المؤلفين، مكرس لتاريخ امتلاك الإنسان لقوة الطاقة الحديثة، وهو معروض ومبسط في تسلسل تاريخي مترابط جذاب وممتع، وذلك لإفادة أوسع حلقة من القراء.